TUGAS AKHIR

KAJIAN KOEFISIEN DEBIT PADA ALAT UKUR DEBIT

(PENELITIAN LABORATORIUM)

OLEH :

1. Nama : HERMAWAN ISBANDI
   No. Mhs. : 84 310 251
   NIRM : 844330246
2. Nama : GHULAM HERU SUBIYANTORO
   No. Mhs. : 87 310 165
   NIRM : 875015330150

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

1997

TUGAS AKHIR

KAJIAN KOEFISIEN DEBIT PADA ALAT UKUR DEBIT

(PENELITIAN LABORATORIUM)

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

OLEH :

1. Nama : HERMAWAN ISBANDI
   No. Mhs. : 84 310 251
   NIRM : 844330246
2. Nama : GHULAM HERU SUBIYANTORO
   No. Mhs. : 87 310 165
   NIRM : 875015330150

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

1997

LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR

KAJIAN KOEFISIEN DEBIT PADA ALAT UKUR DEBIT
(PENELITIAN LABORATORIUM)

OLEH :

1. Nama : HERMAWAN ISBANDI
   No. Mhs. : 84 310 251
   NIRM : 844330246
2. Nama : GHULAM HERU SUBIYANTORO
   No. Mhs. : 87 310 165
   NIRM : 875015330150

TELAH DIPERIKSA DAN DISETUJUI OLEH:

IR. ENDANG TANTRAWATI, M.T.

DOSEN PEMBIMBING I

Tanggal: 3 - 4 - 1997

IR. LALU MAKRUF, M.S.

DOSEN PEMBIMBING II

Tanggal: 3 - 4 - 1997

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim

Assalamu'alaikum wr. wb.

Dengan memanjatkan puji syukur ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya, penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir baik penelitian maupun karya tulisnya, yang merupakan salah satu syarat dalam menempuh pendidikan sarjana strata satu (S1) pada Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Penelitian dengan judul "Kajian Koefisien Debit pada Alat Ukur Debit" dilakukan pada bulan September tahun 1996, bertempat di Laboratorium Hidrolika, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mempraktekkan teori yang diperoleh di bangku kuliah, serta memperluas wawasan untuk bekal memasuki dunia kerja.

Mengingat singkatnya waktu pelaksanaan penelitian dan terbatasnya kemampuan, penulis menyadari bahwa hasil yang diperoleh jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran demi penyelesaian yang lebih baik.

Pada kesempatan ini perkenankanlah penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat :

1. Bapak Ir. H. Susastrawan, M.S., Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Bambang Sulistiono, Ms.C.E., Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
3. Ibu Ir. Endang Tantrawati, M.T., selaku Dosen Pembimbing I dan Kepala Laboratorium Hidrolika Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, atas arahan dan bimbingannya.
4. Bapak Ir. Lalu Makruf, M.S., selaku Dosen Pembimbing II, atas kritik dan ketelitiannya dalam membimbing penelitian dan penyusunan karya tulis.

5. Sdr. Heriyanto, selaku staf Laboratorium Hidrolika Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, atas bantuan yang diberikan.
6. Ibu dan Bapak Hadi Sutjipto, Ibu Soebandini Taher, serta Ibu dan Bapak H.M. Munir Machalli.
7. Sdri. Dra. Sri Herawati selaku teman dekat penulis (Ghulam Heru Subiyantoro), serta Rifqiyanti dan Thorifah Yumna selaku istri dan anak penulis (Hermawan Isbandi).
8. Sdr. Agus Mulyanto, Budiansyah, Fokteksi 87 dan rekan-rekan yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah banyak memberikan bantuan dan dorongan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Akhirnya, besar harapan penulis semoga karya tulis ini dapat bermanfaat, khususnya bagi penulis dan bagi para peminat masalah Hidrolika pada umumnya.

Wallohulmuwafiq ila aqwamittoriq

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, Maret 1997

Penulis

1. Hermawan Isbandi
2. Ghulam Heru Subiyantoro

"Alle Prozesse bedürfen einer methode"

"It is not the gun, and it is not the man behind the gun, but it is the soul in the spirit of the man behind the gun"

"Believe in God is no mere longer a believe but it become a science of highest dimension"

Sesungguhnya menanglah hati orang mukmin yang khusyu dalam sholatnya (QS Al Mu'minun:1-2)

(Prof. Dr. H. S.S. Kadirun Yahya M.A., M.Sc.)

Kepada yang tercinta:
Ayahanda Prof. Dr. H. S.S. Kadirun Yahya M.A., M.Sc.
Terima kasih yang tiada terkira atas bimbingan dan keteladanan
dengan pemuh welas asih kepada ananda

DAFTAR ISI

		Halaman
HALAMAN JUDUL		i
LEMBAR PENGESAHAN		iii
KATA PENGANTAR		iv
MOTTO		vi
DAFTAR ISI		vii
DAFTAR TABEL		xi
DAFTAR GAMBAR		xii
DAFTAR LAMPIRAN		xv
INTISARI		xvi
BAB I	PENDAHULUAN	1
	1.1. Latar Belakang Masalah	1
	1.2. Batasan Masalah	2
	1.3. Maksud dan Tujuan	3
BAB II	TINJAUAN PUSTAKA	4
	2.1. Pendahuluan	4
	2.2. Model Hidrolika	4
	2.2.1. Model Fisik Dua Dimensi	5
	2.2.2. Model Fisik Tiga Dimensi	6
	2.3. Jenis Eksperimen	6
	2.3.1. Eksperimen Pembuktian	6
	2.3.2. Eksperimen Evaluasi	6
	2.3.3. Eksperimen Hubungan Variabel	7
	2.4. Pintu Sorong	8
	2.4.1. Kondisi Aliran Modular	8
	2.4.2. Hasil Penelitian Empiris	12
	2.4.3. Kondisi Batas Modular	13

2.5. Bendung Ambang Lebar 13
2.5.1. Kondisi Aliran Modular 14
2.5.2. Hasil Penelitian Empiris Berdasarkan Pendekatan Konsep Lapis Batas 16
2.5.3. Kondisi Batas Modular 20
2.6. Bendung Ambang Tajam 22
2.6.1. Kondisi Aliran Modular 23
2.6.2. Penelitian Empiris 25
2.6.3. Batas Modular 26
2.7. Bendung Peluap Tipe "V-Notch" 26
2.7.1. Kondisi Aliran Modular 27
2.7.2. Hasil Penelitian Empiris 29
2.8. Ikhtisar 30
BAB III LANDASAN TEORI 32
3.1. Pendahuluan 32
3.2. Klasifikasi Aliran 32
3.3. Kondisi Aliran 34
3.4. Persamaan Dasar Aliran 36
3.4.1. Persamaan Kontinuitas 36
3.4.2. Persamaan Energi 38
3.4.3. Persamaan Momentum 41
3.5. Fenomena Lokal 43
3.5.1. Fenomena Jatuh Bebas 44
3.5.2. Loncat Air 47
3.5.3. Fenomena Lapis Batas 52
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN 55
4.1. Pendahuluan 55
4.2. Cara Kerja Alat 56
4.2.1. Saluran 56
4.2.2. Tangki Air 57

4.2.3. Pelat Pembendungan 58
4.2.4. Pengatur Kemiringan Dasar Saluran 58
4.2.5. Tangki Pengukur Debit 59
4.2.6. "Point Gauge" 60
4.2.7. "Piezometer" 61
4.2.8. Pompa air, Pengatur Debit, dan "Stabilizer" 61
4.3. Teori Kesalahan 62
4.3.1. Perhitungan Ralat 63
4.4. Prosedur Penelitian 66
4.4.1. Prosedur Penelitian Pintu Sorong 66
4.4.2. Prosedur Penelitian Ambang Tajam 67
4.4.3. Prosedur Penelitian Bendung "V-Notch" 68
4.4.4. Prosedur Penelitian Bendung Ambang Lebar 69
BAB V PELAKSANAAN PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 71
5.1. Pendahuluan 71
5.2. Kondisi "Tilting Flume" 71
5.2.1. Pompa 72
5.2.2. Saluran "Tilting Flume" 72
5.2.3. Sistem "Outlet" 73
5.2.4. "Point Gauge" 74
5.2.5. "Piezometer" 75
5.2.6. Tangki Penampungan 75
5.3. Kondisi Model Fisik Hidrolik 78
5.3.1. Model Pintu Sorong 78
5.3.2. Model Bendung Ambang Tajam 79
5.3.3. Model Bendung "V-Notch" 79
5.4. Kesalahan pada Pengamatan 80
5.5. Pembahasan Penelitian pada Model Pintu Sorong 80
5.5.1. Pengukuran Cd pada Kondisi Modular 80
5.5.2 Analisa Grafik dan Pengamatan 82

5.5.3. Kondisi Batas Modular 88
5.6. Pembahasan Penelitian pada Model Bendung Ambang Lebar 88
5.6.1. Pengukuran Koefisien Debit pada Kondisi Modular .. 89
5.6.2. Analisa Grafik dan Pengamatan 90
5.6.3. Kondisi Batas Modular 93
5.7. Pembahasan Penelitian pada Model Bendung Ambang Tajam 93
5.7.1. Pengukuran Koefisien Debit pada Kondisi Modular .. 93
5.7.2. Analisa Grafik dan Pengamatan 94
5.7.3. Kondisi Batas Modular 96
5.8. Pembahasan Penelitian pada Model Bendung Ambang "V-Notch" 98
5.8.1. Pengukuran Koefisien Debit pada Kondisi Modular .. 98
5.8.2. Analisa Grafik dan Pengamatan Fenomena Aliran 99
5.8.3. Kondisi Batas Modular 100
5.9. Kesalahan Relatif 103
5.9.1. Model Pintu Sorong 103
5.9.2. Model Bendung Ambang Tajam 105
5.9.3. Model Bendung Ambang "V-Notch" 105
5.9.4. Model Bendung Ambang Lebar 106
5.10. Alat Ukur Debit Aliran Standar 107
5.10.1. Cara Langsung 107
5.10.2. Cara Tidak Langsung 109
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 118
6.1. Kesimpulan 118
6.2. Saran 119
DAFTAR PUSTAKA 120

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
2.1.	Koefisien debit empiris	21
2.2.	Perbandingan B/b	25
2.3.	Koefisien debit pelimpah ambang "v-notch"	30
5.1.	Kesalahan pengukuran	77
5.2.	Regresi model matematika pada penelitian model pintu sorong	83
5.3.	Regresi model matematika pada penelitian model ambang lebar	92
5.4.	Regresi model matematika pada penelitian model ambang tajam	97

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Distribusi tekanan pada pintu sorong	9
2.2. Variasi koefisien debit	13
2.3. Aliran di atas ambang lebar	14
2.4. Fenomena lapis batas pada ambang lebar	16
2.5. Grafik lapis batas relatif	20
2.6. Batas modular sebagai fungsi H_1/w	22
2.7. Aliran melalui ambang	23
2.8. Aliran melalui "v-notch"	27
2.9. Distribusi tekanan di hulu	29
3.1. Klasifikasi aliran	34
3.2. Sistem aliran	37
3.3. Garis aliran	38
3.4. Pipa aliran	41
3.5. Gaya-gaya pada aliran	42
3.6. Jatuh bebas	44
3.7. Profil loncatan air	48
3.8. Kehilangan tenaga pada loncat air	51
3.9. Pembagian kecepatan pada permukaan saluran yang halus	53
4.1. "Tilting flume"	56
4.2. Rel "point gauge"	57
4.3. Tangki penampungan	57
4.4. Pelat pembendungan di dalam saluran "outlet" pada 0°	58
4.5. Pengatur kemiringan dasar saluran	59
4.6. Papan duga pada tangki penampungan	60
4.7. "Point gauge"	60
4.8. "Piezometer" terpasang	61

4.9. Pompa dan pendukung lainnya 62
5.1. Sistem "outlet" 73
5.2. Kalibrasi "point gauge" 74
5.3. Jarak jatuh limpasan air menuju pompa 76
5.4. Pipa "outlet" diarahkan pada bagian penampungan 77
5.5. Saat pengukuran debit 78
5.6. Grafik perbandingan antara harga teori dan pengukuran 82
5.7. Grafik hubungan koefisien debit pengukuran dengan koefisien kontraksi 84
5.8. Grafik hubungan koefisien debit dengan tinggi muka air hilir 85
5.9. Grafik hubungan koefisien debit dengan debit aliran 86
5.10. Grafik perbandingan dengan debit tetap 86
5.11. Grafik perbandingan nilai koefisien debit antara debit tetap dan debit berubah 87
5.12. Model pintu sorong pada kondisi modular 88
5.13. Grafik perbandingan antara nilai pengukuran dan nilai empiris 90
5.14. Grafik perbandingan dengan debit aliran 91
5.15. Percobaan ambang lebar 91
5.16. Grafik perbandingan koefisien debit 94
5.17. Grafik nilai pengukuran 94
5.18. Penelitian model ambang tajam pada kondisi modular 95
5.19. Perkiraan kondisi batas modular 96
5.20. Grafik perbandingan 99
5.21. Grafik pengukuran 100
5.22. Aliran pada model "v-notch" pada kondisi modular 101
5.23. Aliran "v-notch" terlihat dari depan, tampak olakan pada hilir yang cukup besar 101
5.24. Kondisi batas modular 102
5.25. Kondisi aliran menyelam 102
5.26. "Orificemeter" 107

5.27. Letak "orificemeter" dan "venturimeter" pada "tilting flume" 108
5.28. Profil "Current Meter" 110
5.29. "Current meter" pada "tilting flume" 111
5.30. Sistem kerja LDV 112
5.31. Berkas sinar laser memasuki sistem interferensi optik 113
5.32. Berkas sinar laser yang keluar dari sistem interferensi optik membentuk pola interferensi tiga dimensi 113
5.33. Sistem pengubah cahaya menjadi isyarat listrik 114

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran

1.1. Penelitian I : Model Pintu Sorong

1.2. Gambar model pintu sorong

1.3. Tabel-tabel pengukuran dan penelitian pada model pintu sorong

2.1. Penelitian II : Model Bendung Ambang Tajam

2.2. Gambar model bendung ambang tajam

2.3. Gambar model bendung ambang tajam

2.4. Tabel-tabel pengukuran dan penelitian pada model bendung ambang tajam

2.5. Grafik hubungan antara koefisien debit pengukuran terhadap debit aliran (pengukuran volume tampungan) pada model bendung ambang tajam

3.1. Penelitian III : Model Bendung Ambang Lebar

3.2. Gambar model bendung ambang lebar

3.3. Tabel-tabel pengukuran dan penelitian pada model bendung ambang lebar

3.4. Grafik hubungan antara koefisien debit dengan debit aliran pada model bendung ambang lebar

3.5. Grafik perbandingan koefisien debit model bendung ambang lebar

4.1. Penelitian IV : Model Bendung "V-Notch"

4.2. Gambar bendung "v-notch" standar yang digunakan untuk keperluan pengukuran

4.3. Gambar bendung "v-notch"

4.4. Tabel-tabel pengukuran dan penelitian pada model bendung "v notch"

4.5. Grafik hubungan antara koefisien debit dengan debit aliran pada model bendung "v-notch"

4.6. Grafik perbandingan koefisien debit model bendung "v-notch"

4.7. Grafik koefisien debit empiris berdasarkan penelitian oleh Herschy (1985) pada model bendung "v-notch"

INTISARI

Koefisien debit (Cd) merupakan angka tak berdimensi sebagai koreksi dari hasil formulasi matematika debit aliran yang mengalir pada bangunan air terhadap hasil pengukuran debit aliran. Hasil penelitian dan studi pustaka menunjukkan bahwa nilai koefisien debit tidak konstan, nilainya bergantung pada beberapa faktor seperti tinggi bukaan pintu pada model pintu sorong atau tinggi muka air di hulu pada model bendung ambang tajam dan ambang lebar. Sedangkan Francis dan Borda mengambil nilai koefisien debit konstan.

Penelitian dengan judul "Kajian Koefisien Debit pada Alat Ukur Debit" merupakan penelitian evaluasi, bertujuan untuk membandingkan nilai koefisien yang diperoleh di laboratorium dengan koefisien debit standar. Pengukuran debit dilakukan dengan volume tampungan, hasilnya menunjukkan ada perbedaan antara koefisien debit pengukuran dengan koefisien debit standar. Perbedaan tersebut diperkirakan karena terjadi kehilangan tenaga pada sistem "outlet", sistem "inlet", loncat air, dan kavitasi.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Hidrolika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dalam penelitian tersebut digunakan empat model bangunan air, yaitu pintu sorong , bendung ambang lebar, bendung ambang tajam, dan bendung ambang "v-notch". Kesalahan relatif pengukuran koefisien debit pada keempat model tersebut berkisar antara 5,507% sampai 14,545 % dengan ketelitian pengukuran berkisar antara 85,545 % sampai 94,49 %.

Pada pintu model sorong menunjukkan perilaku koefisien debit bertambah besar sebanding dengan bertambahnya koefisien kontraksi dan berbanding terbalik dengan tinggi bukaan pintu. Fenomena aliran yang terjadi pada hilir pintu adalah loncat air.

Pada model bendung ambang lebar, koefisien debit berbanding lurus dengan tinggi muka air di hulu. Di ujung ambang menunjukkan aliran berubah tiba-tiba, perubahan kelengkungan terjadi secara mendadak sehinggga menimbulkan turbulensi di hilir.

Pada model bendung ambang tajam, koefisien debit berbanding lurus terhadap tinggi muka air di hulu . Di hilir ambang menunjukkan aliran berubah tiba-tiba.

Pada model bendung ambang "v-notch", koefisien debit berbanding lurus terhadap tinggi muka air di hulu, dan berbanding terbalik dengan tinggi ambang. Model " v-notch" yang digunakan memiliki sudut segitiga sebesar 25,321°. Di ujung ambang menunujukkan aliran berubah tiba-tiba, sehingga di hilir model terjadi kavitasi.

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Teori dasar aliran, umumnya didasarkan atas anggapan bahwa zat cair yang dibahas adalah zat cair ideal yang dibatasi oleh asumsi antara lain :

a. kekentalan zat cair diabaikan.

b. kehilangan energi akibat geseran-geseran antar partikel zat cair diabaikan

c. zat cair tersebut tidak dapat dimampatkan.

Pada kenyataanya sifat zat cair ideal tidak akan pernah ditemukan di alam secara utuh. Contohnya pada aliran yang melewati bangunan air, diasumsikan sebagai aliran permanen, tetapi masih timbul turbulensi (olakan) bahkan putaran (rotasi).

Dari permasalahan tersebut di atas, untuk membuat suatu titik temu antara nilai pengukuran dengan nilai pendekatan analisis teoritis, maka rumus debit teoritis perlu diberikan koreksi dengan koefisien yang disebut koefisien debit.

Salah satu fasilitas yang dimiliki laboratorium Hidrolika pada Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, adalah saluran multi guna("glass sided tilting flume").

Peralatan ini memiliki beberapa kemudahan dan kegunaan dalam pelaksanaan penelitian hidrolika, khususnya hidrolika pada saluran terbuka.

Kemudahan ini antara lain :

a. air dapat dialirkan melalui model dengan debit secara terus-menerus, dan
b. kemiringan dasar pada "tilting flume" dapat diatur sesuai dengan penggunaannya.

"Tilting flume" dengan beberapa model bangunan airnya, belum pernah digunakan untuk keperluan-keperluan yang mengkaji tentang koefisien debit pada alat ukur debit.

Dari permasalahan yang telah dikemukakan di depan, penulis melaksanakan penelitian untuk memperoleh nilai pengukuran koefisien debit dengan empat buah model bangunan airnya pada "tilting flume" dengan alat yang tersedia.

1. 2. Batasan Masalah

Untuk dapat memberikan hasil penelitian yang baik, maka penelitian ini dibatasi oleh kondisi dan alat yang tersedia di laboratorium Hidrolika, antara lain :

a. aliran melalui beberapa model bedung bangunan air pada "tilting flume" dibatasi pada aliran modular dengan dasar kemiringan datar, dan
b. penelitian ini bersifat evaluatif atau bersifat penjajakan.
c. batas modular sulit ditentukan pada kondisi alat yang tersedia, sehingga batas modular yang dipakai adalah dari hasil penelitian empiris para ahli.

Kemudian dari harga batas tersebut diamati kondisi alirannya di sekitar model.

1. 3. Maksud dan Tujuan :

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengkaji koefisien debit pada alat ukur debit yang melalui model bangunan air, kemudian diperbandingkan dengan rumus koefisien debit standar, dan di cari variabel yang berpengaruh terhadap nilai koefisien debit aliran.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menunjukkan bahwa nilai koefisien debit pada bangunan alat ukur debit tidak konstan.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2. 1. Pendahuluan

Pada hidrolika saluran terbuka, banyak fenomena aliran yang tidak bisa dianalisis secara tepat dengan formulasi matematika. Sedangkan perhitungan formulasi matematika dalam pendekatannya melakukan pengabaian-pengabaian terhadap sifat dasar zat cair dan alirannya seperti :

a. sifat kekentalan zat cair diabaikan

b. gaya sentripetal akibat aliran yang melengkung diabaikan, dan

c. kerapatan zat cair selalu tetap sehingga perubahannya diabaikan.

Oleh karena itu terjadi kesenjangan antara hidrolika teoritis dengan hidrolika empiris. Untuk menjembatani kesenjangan tersebut, perlu diupayakan angka koreksi terhadap perhitungan teoritis, yang diperoleh melalui pengujian-pengujian terhadap beberapa model hidrolik.

2. 2. Model Hidrolika

Pengetahuan hidrolika merupakan dasar yang harus dikuasai untuk menyelesaikan masalah aliran. Pada umumnya para teknisi menyelesaikan permasalahan aliran dengan menggunakan pendekatan model hidrolika, antara lain model matematika ("mathematic model"), model fisik ("hydraulic model"), dan model campuran ("hybrid model").

Model matematika adalah simulasi fisik melalui persamaan matematika yang sudah diketahui dan diselesaikan dengan pendekatan numerik.

Karena kompleksnya permasalahan yang dibahas pada aliran, maka sering studi model matematika tidak bisa menjawab secara tuntas permasalahan aliran, sehingga diperlukan model fisik untuk melengkapi penyelesaian masalah aliran, agar lebih sesuai dengan kondisi aslinya.

Peran model hidrolik dalam mendukung kegiatan perencanaan pekerjaan bangunan air adalah :

a. untuk meramalkan kemungkinan yang akan terjadi setelah bangunan dibuat,
b. untuk memperoleh tingkat keyakinan yang tinggi atas keberhasilan suatu perencanaan bangunan, dan
c. untuk meramalkan pengaruh bangunan terhadap struktur bangunannya sendiri serta lingkungan.

2. 2. 1. Model Fisik Dua Dimensi

Model fisik dua dimensi diperlukan untuk mengamati fenomena aliran dua dimensi yang terjadi di sekitar model. Aliran dua dimensi memiliki gradien dua arah yaitu sumbu x dan sumbu y.

Kecepatan aliran bervariasi ke arah sumbu y , sedangkan tekanan bervariasi ke arah sumbu x. Model dua dimensi umumnya dipakai untuk menyelidiki bentuk mercu bendung yang ekonomis, mengukur keofisien debit, dan pengupayaan peredaman energi aliran ("stilling basin")

2. 2. 2. Model Fisik Tiga Dimensi

Model fisik tiga dimensi adalah model yang diperlukan untuk mengamati fenomena aliran tiga dimensi yang terjadi disekitar model tersebut. Aliran tiga dimensi adalah aliran yang memiliki gradien tiga arah dalam sistem koordinat kartisius.

Jadi parameter aliran bervariasi terhadap sumbu x, y, z.. Model tiga dimensi umumnya diperlukan untuk menyelidiki perilaku bangunan utama irirgasi, seperti perbaikan bentuk dan konfigurasi dinding sayap

2. 3. Jenis Eksperimen

Secara umum, eksperimen hidrolika dapat dikelompokkan kedalam tiga kategori (Nizam dan Djoko Legono, Hidrolika Eksperimen, PAU Teknik 1988.).

1. eksperimen Pembuktian
2. eksperimen Evaluasi
3. eksperimen Variabel.

2. 3. 1. Eksperimen Pembuktian

Eksperimen bertujuan memperkuat formulasi yang dihasilkan dari tinjauan analisis matematika.

2. 3. 2. Eksperimen Evaluasi

Eksperimen evaluasi bertujuan mengevaluasi koefisien dengan melengkapi persamaan teoritis yang disebabkan oleh pengabaian-pengabaian sifat dasar zat cair dan aliran.

Dengan melakukan pengukuran di laboratorium Hidrolika, maka semua faktor pengabaian tersebut akan menjadi suatu koefisien sehingga diperoleh :

Harga sesungguhnya = Koefisien x Formula Teoritis

Hubungan antara variabel yang diteliti akan mudah di mengerti bila disajikan dalam bentuk grafik. Hasil pengamatan yang tidak sesuai dengan yang diharapkan tidak boleh dihilangkan dari grafik yang akan disajikan. Bila hasilnya cenderung untuk membentuk garis bisa dilakukan dengan metode kwadrat kecil ("least square method"), yang merupakan hubungan antara satu "independent variable" dengan satu "dependent variable". Bila diperoleh kecenderungan hasil lengkung, persamaan garis bisa dianalisis dengan merubah grafik eksponensial menjadi grafik logaritmik.

Karena yang dicari merupakan koefisien suatu persamaan, maka hasilnya akan diperbandingkan dengan koefisien standar yang ada di dalam buku acuan. Bila dijumpai penyimpangan hasil maka harus dijelaskan dan dicari kemungkinan sumber kesalahan.

2. 3. 3. Eksperimen Hubungan Variabel

Eksperimen hubungan variabel bertujuan mencari hubungan variabel yang diperkirakan akan berpengaruh terhadap suatu fenomena aliran hidraulik yang belum bisa diselesaikan secara analitis. Hubungan variabel hanya bisa diketahui melalui eksperimen.

Prosedur eksperimen ini, nantinya dapat digunakan sabagai analisis dimensi dalam hidrolika untuk :

a. pengecekan kebenaran persamaan,

b. penentuan dimensi koefisien empiris, dan

c. pengelompokan variabel dalam penelitian untuk membantu sistematika penelitian.

2. 4. Pintu Sorong

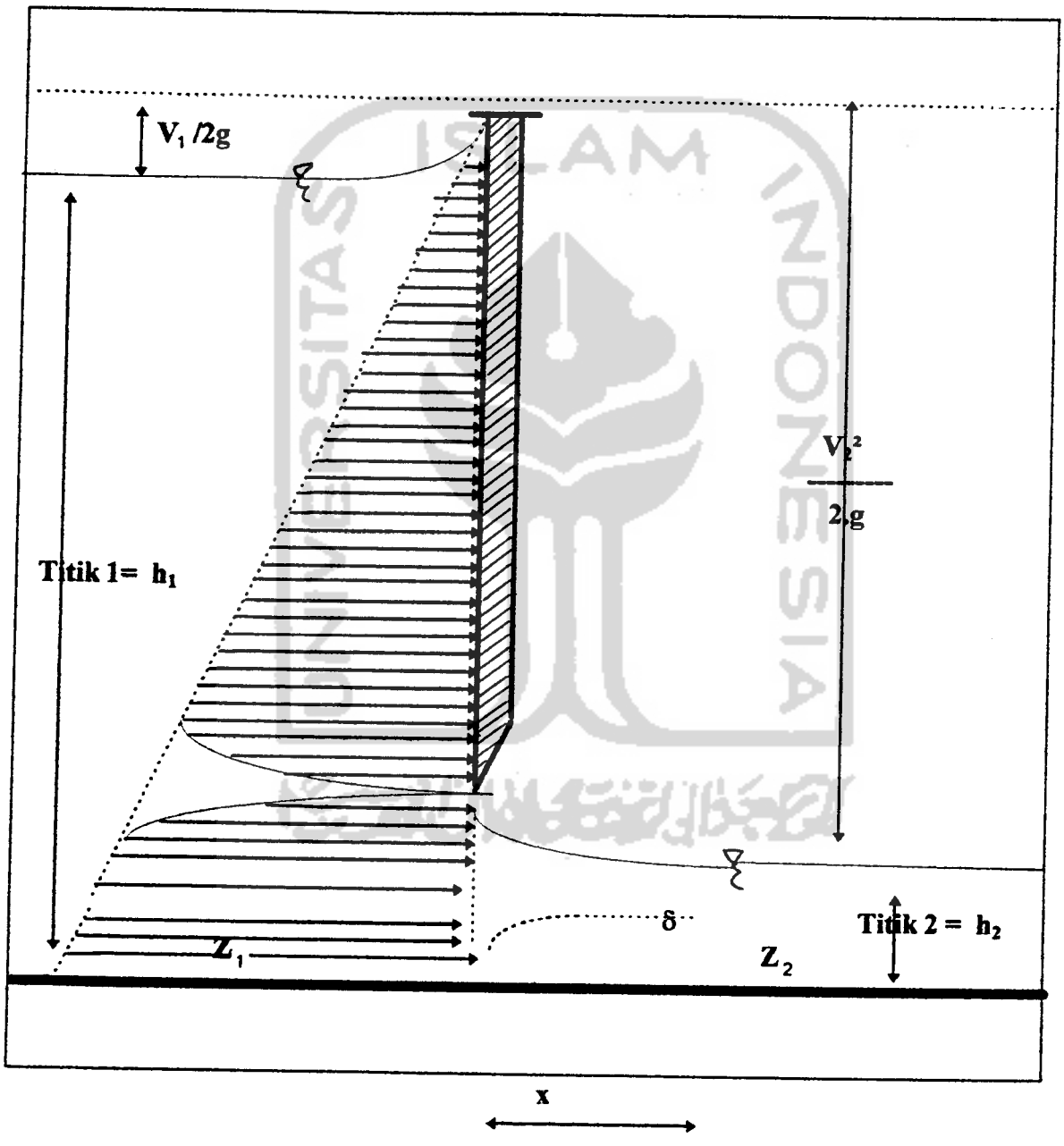
Bentuk pintu sorong dalam penerapannya sebagai pengatur debit yang didifinisikan sebagai bangunan yang dapat menghasilkan hubungan antara debit dan kedalaman di hulu bangunan dengan penampang lintang tertentu. Bangunan pengatur debit juga dapat digunakan untuk mengukur debit.

2. 4. 1. Kondisi Aliran Modular

Pada kondisi aliran modular (aliran bebas), aliran yang melewati pintu akan mencapai kedalaman minimum yang disebut "vena contracta".

Gambar (2. 1.) menunjukkan distribusi tekanan pada pintu sorong, yang diperoleh para ahli hidrolik, bahwa tekanan pada pintu sorong, bukan tekanan hidrostatik. Aliran di hilir pintu merupakan aliran super kritik termasuk dalam klasifikasi aliran "rapidly varied flow", sedangkan aliran di hulu pintu merupakan aliran sub kritik dan termasuk dalam klasifikasi aliran "gradually varied flow" yang membentuk kurva aliran balik ("back water curve").

Pintu sorong dalam prakteknya pada saluran irigasi berfungsi sebagai pengontrol debit aliran dengan cara mengatur tinggi bukaan pintu dan mengetahui hubungan antara tinggi muka air di hulu pada debit aliran.



Gambar 2. 1 Distribusi tekanan pada pintu sorong yang didapat dari para ahli

Harga koefisien kontraksi diperoleh :

$$Cc = hg / h_1$$

dengan Cc = koefisien kontraksi

hg = tinggi bukaan

h_1 = tinggi permukaan di hulu

Berdasarkan hukum konservasi energi pada titik 1 dan 2 pada gambar (2. 1.)

$$Z_1 + \frac{V_1^2}{2.g} + \frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2.g} + Z_2$$

$$Z_1 = Z_2$$

$$\frac{V_1^2}{2.g} + \frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2.g}$$

$$\frac{P_1}{\gamma} = h_1 \; ; \quad \frac{P_2}{\gamma} = h_2 \quad \text{sehingga}$$

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2.g} = h_2 + \frac{V_2^2}{2.g}$$

dengan Z_1 dan Z_2 = kedalaman dasar saluran

V_1 dan V_2 = kecepatan aliran

P_1 dan P_2 = tinggi tekanan

h_1 dan h_2 = tinggi permukaan

g = gaya grafitasi

γ = berat jenis zat cair

Berdasarkan persamaan kontinuitas

$$Q = V_1 . A_1 = V_2 . A_2 \qquad (2.\ 1.)$$

maka diperoleh:

$$h_1 + \frac{Q^2}{2.\ g.\ B^2.\ h_1^2} = h_2 + \frac{Q^2}{2.\ g.\ B^2.\ h_2^2}$$

$$\frac{Q^2}{2.\ g.\ B^2.\ h_1^2} - \frac{Q^2}{2.\ g.\ B^2.\ h_2^2} = h_2 - h_1$$

$$\frac{Q^2 (h_2 - h_1)}{2.\ g.\ B^2.\ h_1^2.\ h_2^2} = h_2 - h_1$$

$$Q^2 = 2.\ g.\ B^2 (h_2 - h_1) . \frac{(h_2 . h_1)^2}{(h_2 + h_1)(h_2 - h_1)}$$

$$Q = h_1 . h_2 . B. \sqrt{\left(\frac{h_1}{h_1 + h_2} \right)}$$

$$Q = \sqrt{\frac{B.\,hg.\,Cc.\,(2.\,g.\,h_1)}{(h_2/h_1)}}$$

maka

$$\mathbf{Q = Cd.\,B.\,hg.\sqrt{(2.\,g.\,h_1)}} \qquad \mathbf{(2.2.)}$$

$$\mathbf{Cd = \frac{Cc}{\sqrt{1+(h_2/h_1)}}} \qquad \mathbf{(2.3.)}$$

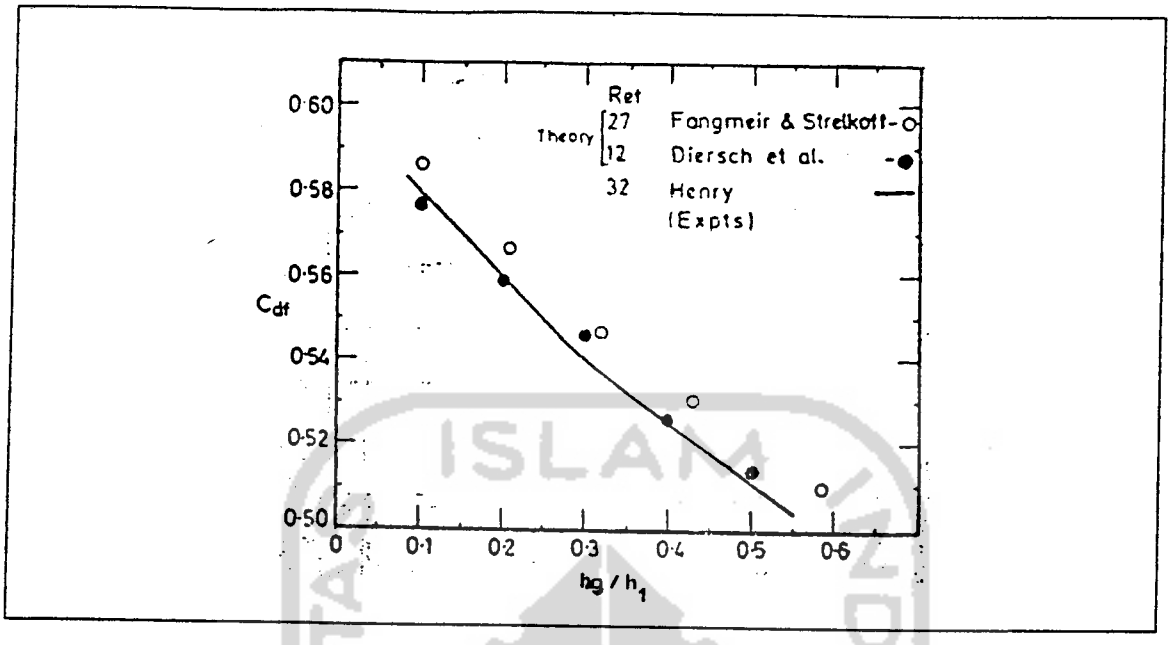
dengan Q = debit aliran

Cd = koefisien debit

B = lebar saluran pada "tilting flume"

2. 4. 2. Hasil Penelitian Empiris

Fangmeir, Henry dan Diersch secara sendiri-sendiri mengadakan pengukuran koefisien debit dengan model pintu sorong pada "tilting flume" di laboratorium mereka masing-masing, diperoleh harga variasi koefisien debit terhadap perbadingan tinggi bukaan pintu dengan tinggi permukaan air di hulu. Seperti gambar 2. 2. (K. Subramanya Flow Open Chanel, 1988.)



Gambar 2. 2 Variasi koefisien debit (Cd)

2. 4. 3. Kondisi Batas Modular

Kondisi batas modular terjadi, jika aliran di hilir berubah menjadi aliran kritik. Sehingga pada kondisi aliran tenggelam, aliran di hilir menjadi aliran sub kritik.

2. 5. BendungAmbang Lebar

Ambang adalah bangunan yang berfungsi sebagai pembendung aliran, melimpaskan aliran ke hilir ambang, dan sebagai alat ukur debit. Akibat dari pembendungan, aliran akan menimbulkan kurva balik ("back water curve")

Pada saat elevasi mencapai titik kulminasi maka aliran akan melimpas. Fenomena limpasan pada bangunan ambang (baik ambang tajam maupun ambang lebar) akan terjadi fenomena lokal yang disebut jatuh bebas ("free over fall").

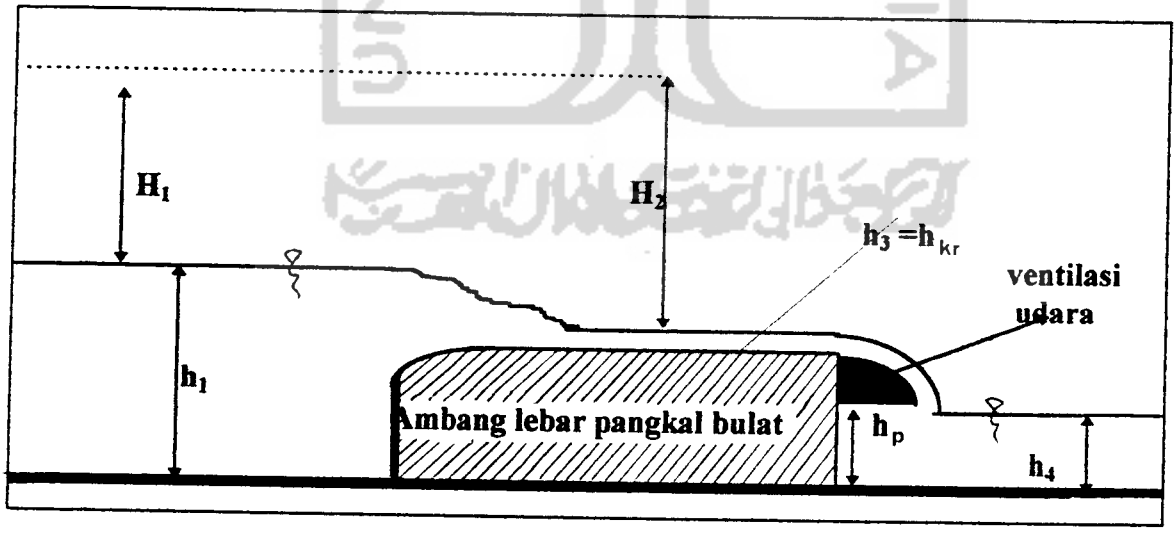
2. 5. 1. Kondisi Aliran Modular

Ambang lebar adalah bangunan yang mempunyai panjang ambang minimal mampu menghasilkan garis aliran yang sejajar dengan ambang, sehingga diatas ambang terjadi distribusi tekanan hidrostatik.

Ukuran panjang biasanya dinyatakan dengan angka perbandingan (H_1/ L) yakni $0{,}08 < H_1/ L < 0{,}5$. Untuk $\frac{H_1}{L} < 0{,}08$ kehilangan energi diatas ambang tidak bisa diabaikan. Sedangkan untuk $\frac{H_1}{L} > 0{,}5$ aliran diatas ambang tidak terjadi distribusi tekanan hidrostatik. Bila suatu ambang lebar bekerja sebagai pengendali, maka debit yang lewat dapat diperkirakan berdasarkan kondisi aliran kritik di atas ambang dengan asumsi garis aliran sejajar. Gambar (2. 3 .) menunjukkan aliran kritis di atas ambang.

dengan H_1 = tinggi tekanan

L = panjang ambang lebar



Gambar 2. 3. Aliran diatas ambang lebar

Dengan anggapan kehilangan energi akibat turbulensi dan viskositas diabaikan, maka berdasarkan persamaan kontinuitas dan persamaan energi :

$$H = E_{kr} = 3/2\, h_{kr}$$

$$H = 3/2.\left(\frac{Q^2}{g.B^2}\right)^{1/3}$$

$$(2/3.H)^3 = \frac{Q^2}{g.B^2}$$

sehingga

$$\mathbf{Q = B.(\sqrt{g}).(2/3.H)^{1,5}} \qquad \mathbf{(2.4.)}$$

Persamaan (2. 4.) adalah persamaan teoritis ambang lebar, akibat dari pengabaian kehilangan energi karena pengaruh turbulensi dan viskositas, sehingga terjadi hasil yang berbeda antara hasil perhitungan teoritis dengan pengukuran.

Sehingga persamaan (2. 4.) harus dikalikan dengan angka koefisien debit yang mewakili harga-harga, yang diakibatkan oleh pengabaian sifat dasar zat cair tersebut. Maka persamaan di atas menjadi :

$$\mathbf{Q = Cd.\ B.(\sqrt{g})\,(2/3.H)^{1,5}} \qquad \mathbf{(2.5.)}$$

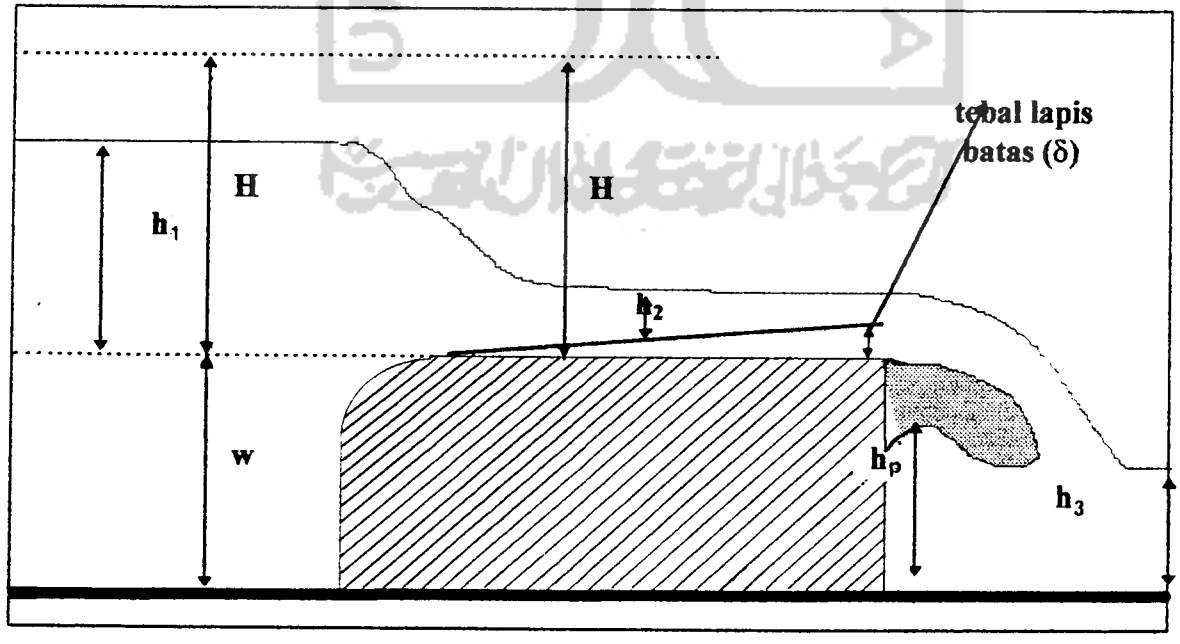
atau

$$Q = 1,705.\ Cd.\ B.\ (H)^{1,5} \qquad (2.6.)$$

2. 5. 2. Hasil Penelitian Empiris Berdasarkan Pendekatan Konsep Lapis Batas

Pada kondisi aliran modular, tinggi permukaan air di hilir tidak di pengaruhi oleh tinggi muka air di hulu, maka persamaan debit aliran pada ambang lebar dapat di dekati dengan tinggi muka air kritik dan pendekatan fenomena lokal yang berupa lapis batas. Dalam pendekatannya dilakukan asumsi sebagai berikut :

1. pada ambang garis aliran sejajar terhadap ambang dengan kedalaman air kritik $h_2 = h_{kr}$,
2. kecepatan (v) merupakan kecepatan aliran yang seragam di luar lapisan batas,
3. tebal lapis batas (δ) relatip kecil terhadap tinggi permukaan air di atas ambang, dan
4. tidak terdapat gradien tekanan sepanjang lapis batas.



Gambar 2. 4. Fenomena lapis batas pada ambang lebar

Seperti pada gambar (2. 4.) berdasarkan konsep lapis batas, kecepatan aliran di luar lapis batas memenuhi persamaan Bernoulli sehingga :

$$v = \sqrt{2.\,g.\,(H - h)} \qquad (2.\,7.)$$

maka debit sesungguhnya adalah

$$Q = v.\,[\,B.\,h_2 - (B + 2.\,h_2).\,\delta^*\,] \qquad (2.\,8.)$$

dengan δ^* merupakan tebal perpindahan lapis batas ("boundary layer displacement thickness").

Pada aliran kritis debit alirannya tidak bertambah terhadap pertambahan kedalaman di atas ambang artinya berapapun besarnya debit asalkan dalam kondisi modular tinggi permukaan air di atas ambang selalu dalam kondisi kedalaman air kritik atau $dQ/\,dh_2 = 0$. Di subtitusi persamaan (2. 7.) ke persaman (2. 8.) dan didifrensialkan terhadap h_2 maka diperoleh :

$$Q = \sqrt{2.g.(H - h_2)}\,.\,\{Bh_2 - (B + 2h_2)\delta^* \qquad (2.\,9.)$$

$$\frac{dQ}{dh_2} = \frac{2.g.(H - h_2).(B - 2.\delta^*) - 2.g.(Bh_2 - B.\delta^* - 2.h_2.\delta^*)}{\sqrt{2.\quad 2.g\,(H - h_2)}}$$

$dQ/\,dh_2 = 0$ maka $h_2 = h_{kr}$ (tinggi kritik) sehingga

$$h_{kr} = \frac{2.H\ (2.\delta^* - B) - B.\delta^*}{3.(2.\delta^* - B)}$$

$$h_{kr} = 2/3.H + \tfrac{1}{3}.\left(\frac{B.\delta^*}{B - 2.\delta^*}\right)$$

karena δ^* sangat kecil sehingga

$$h_{kr} = \frac{2H}{3} + \frac{\delta^*}{3} \qquad (2.10.)$$

maka

$$H - h_{kr} = \frac{1}{3} \cdot (H - \delta^*) \qquad (2.11.)$$

substitusikan persamaan (2. 11.) dan (2. 10.) ke persamaan (2. 9.) maka

$$Q = \sqrt{g}\ .B.(2/3.H).^{3/2} \left(1 - \frac{2.\delta^*.L}{L\,B}\right). \left(1 - \frac{\delta^*.L}{L\,H}\right)^{3/2}$$

berdasarkan persamaan (2. 5.) maka

$$Cd = \left(1 - \frac{2.\delta^*\,L}{L.B}\right). \left(1 - \frac{\delta^*\,L}{L.H}\right)^{3/2} \qquad (2.12.)$$

dari persamaan (2.12.) terlihat bahwa koefisien debit pada ambang lebar akan bervariasi terhadap tebal perpindahan lapis batas relatip δ^*/L ("relative boundary layer displacement thickness").

dengan panjang ambang L, dan H tinggi tenaga aliran di atas ambang.

Harga tebal perpindahan relatip terhadap panjang ambang lebar dapat diperoleh dari grafik pada gambar (2. 5.), merupakan grafik hubungan tebal perpindahan lapis batas relatip terhadap "Reynold number."

"British Standard Institute" meneliti dengan model ambang lebar, memperoleh harga "Reynold number" pada daerah transisi laminer ke turbulen seperti pada gambar (2. 5.).

$$Ret = \frac{v.\,xt}{\upsilon} = 3.\,10^{6}$$

dengan :

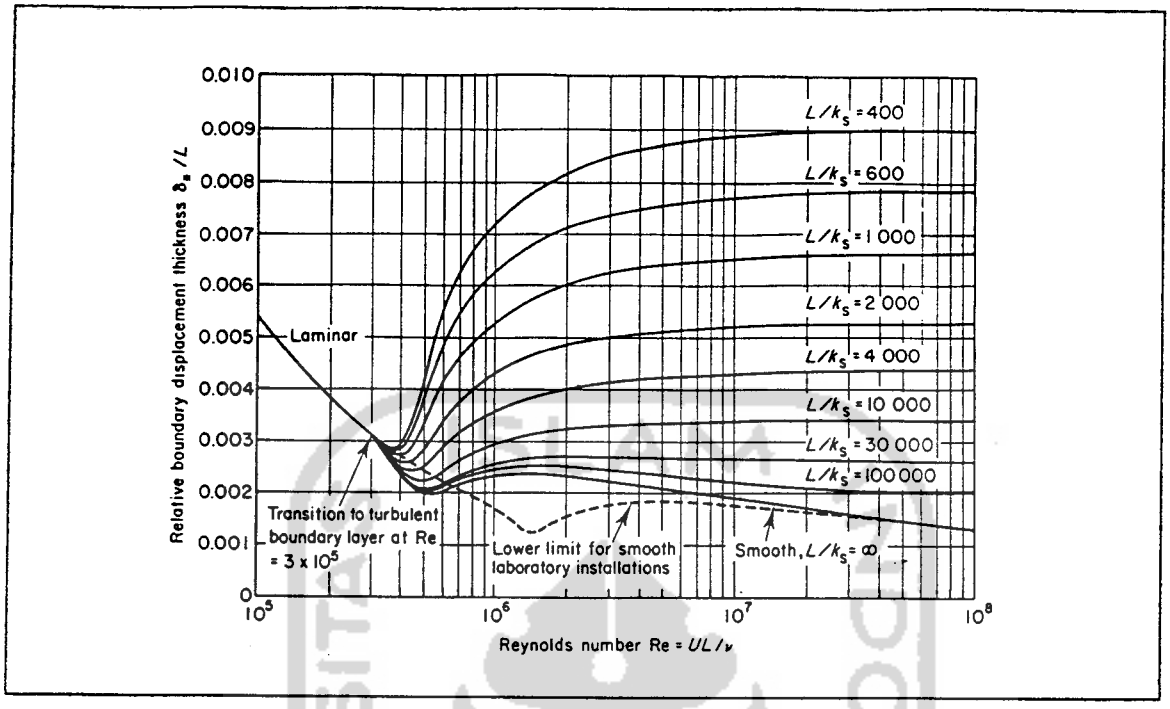
Ret = bilangan reynold pada kondisi transisi

xt = panjang transisi

υ = viskositas kinematik

sehingga harga $\delta^*/L = 0{,}003$.

Maka persamaan (2. 12.) dengan $H \approx h$ dapat ditulis (Reginald W Herschy, Hydrometry Principles and Practices, John Wiley and Sons, New York, 1978.)



Gambar 2. 5. Grafik lapis batas relatip

$$Cd = [\,1 - \frac{0{,}006.\,L}{B}\,].[\,1 - \frac{0{,}031.\,L}{h}\,]^{3/2} \qquad (2.\,13.)$$

dengan L : panjang ambang

B : lebar ambang

h : tinggi muka air hulu

2. 5. 3. Kondisi Batas Modular

Batas modular, pada ambang lebar dengan pangkal dibulatkan adalah angka perbandingan antara H_2/ H_1 pada saat angka tersebut dicapai, debit aliran yang lewat berkurang 1% dari debit pada kondisi modular.

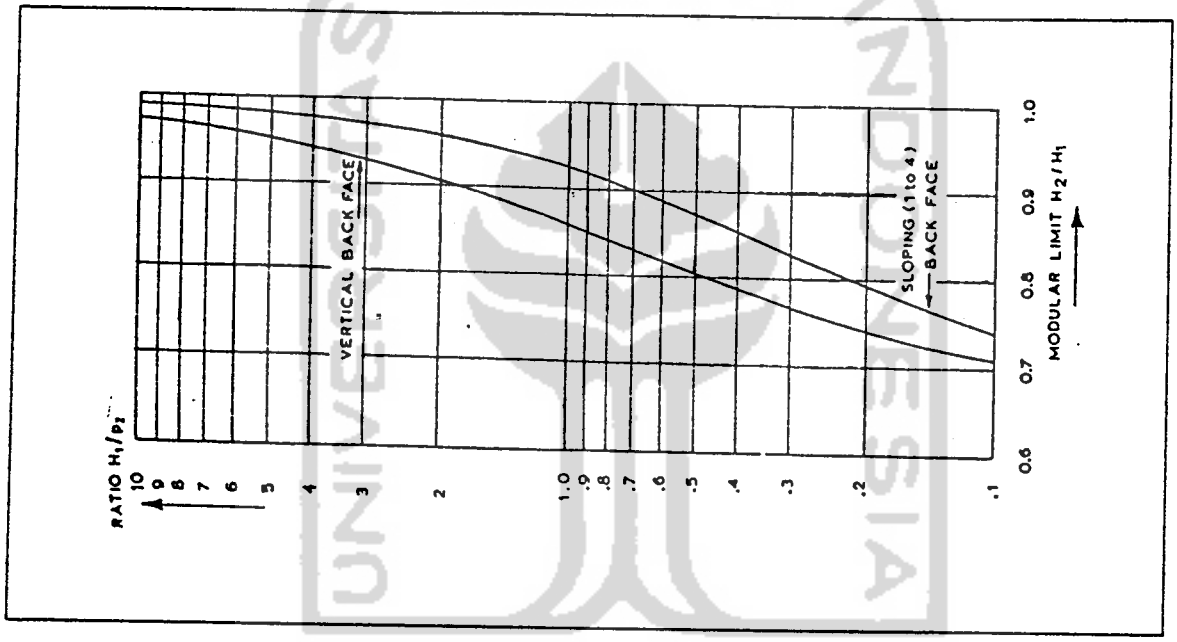
Harga lapis batas modular dapat dibaca pada grafik berikut (Working Group Hydraulics Structure 1988.).

Tabel 2. 1. Koefisien debit empiris

L/b	h/L						
	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
0,2	0,9924	0,9919	0,9913	0,9906	0,9898	0,9888	0,9876
0,4	0,9912	0,9907	0,9901	0,9894	0,9886	0,9876	0,9864
0,6	0,9900	0,9895	0,9889	0,9883	0,9875	0,9865	0,9852
0,8	0,9888	0,9883	0,9878	0,9871	0,9863	0,9853	0,9840
1,0	0,9876	0,9872	0,9866	0,9859	0,9851	0,9841	0,9829
1,2	0,9865	0,9860	0,9854	0,9847	0,9839	0,9829	0,9817
1,4	0,9853	0,9848	0,9842	0,9835	0,9827	0,9818	0,9805
1,6	0,9841	0,9836	0,9831	0,9824	0,9816	0,9806	0,9793
1,8	0,9829	0,9824	0,9819	0,9812	0,9804	0,9794	0,9782
2,0	0,9818	0,9813	0,9807	0,9800	0,9792	0,9782	0,9770
2,2	0,9808	0,9801	0,9795	0,9789	0,9781	0,9771	0,9758
2,4	0,9794	0,9787	0,9784	0,9777	0,9769	0,9759	0,9747
2,6	0,9783	0,9778	0,9772	0,9765	0,9757	0,9748	0,9735
2,8	0,9771	0,9766	0,9761	0,9754	0,9749	0,9736	0,9724
3,0	0,9759	0,9755	0,9749	0,9742	0,9734	0,9724	0,9712
3,2	0,9748	0,9743	0,9733	0,9731	0,9723	0,9713	0,9701
3,4	0,9736	0,9731	0,9726	0,9719	0,9711	0,9701	0,9689
3,6	0,9725	0,9720	0,9714	0,9708	0,9700	0,9690	0,9676
3,8	0,9713	0,9708	0,9703	0,9696	0,9688	0,9678	0,9666
4,0	0,9702	0,9697	0,9691	0,9685	0,9677	0,9667	0,9655
4,2	0,9690	0,9685	0,9680	0,9673	0,9665	0,9656	0,9643
4,4	0,9679	0,9674	0,9668	0,9662	0,9654	0,9644	0,9632
4,6	0,9667	0,9663	0,9657	0,9650	0,9642	0,9633	0,9621
4,8	0,9656	0,9651	0,9646	0,9639	0,9631	0,9621	0,9609
5,0	0,9645	0,9640	0,9634	0,9628	0,9620	0,9610	0,9593

Sumber : Reginald W. Herschy, Stream Flow Measurement 1985

Batas modular, pada ambang lebar dengan pangkal dibulatkan, adalah angka perbandingan antara H_2 / H_1 dimana pada saat angka tersebut dicapai, debit aliran yang lewat berkurang 1% dari debit pada kondisi modular, dan di kalibrasi. Maka harga batas modular dapat dibaca pada grafik berikut (Working Group, Hydraulics Structure 1988.)



Gambar 2. 6. Batas modular sebagai fungsi H_1 / w

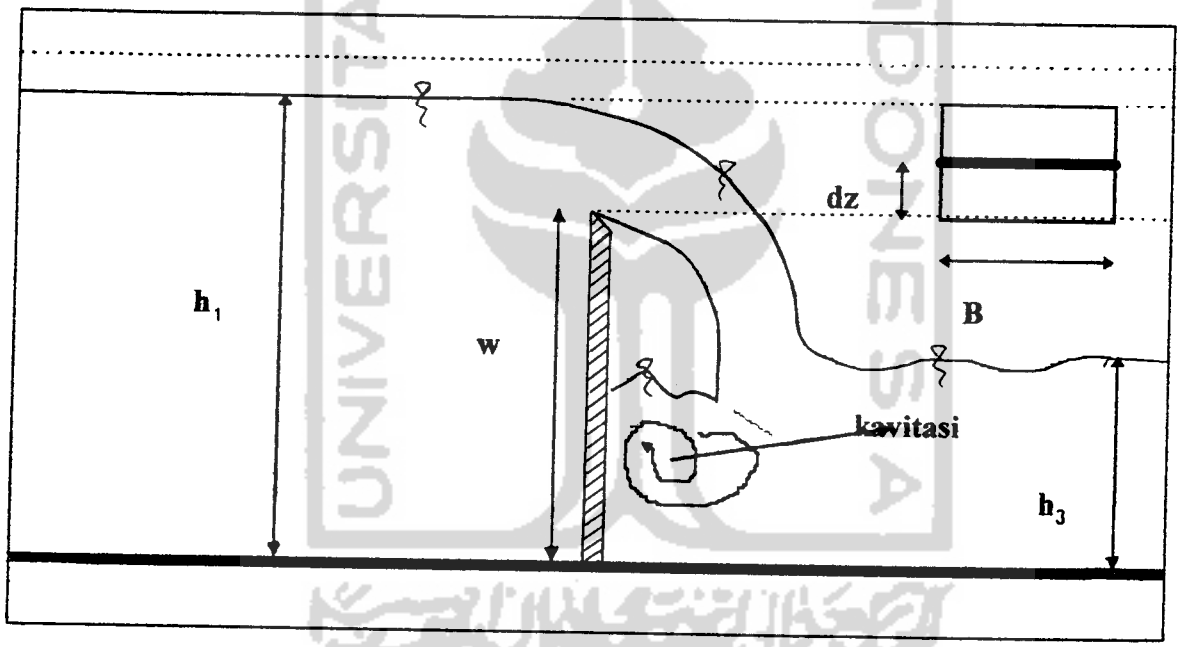
2. 6. Bendung Ambang Tajam

Bendung ambang tajam adalah bangunan yang memiliki fungsi meninggikan muka air, melimpahkan air ke hilir, dan sebagai alat ukur debit. Disebut ambang tajam karena panjang ambang tidak mempengaruhi hubungan antara tinggi energi dan debit (H_1/ L > 15). Pada prakteknya panjang ambang maksimum 2 mm, sehingga akan mengakibatkan aliran yang melimpas diatas ambang berupa pancaran.

Fenomena tekanan negatif yang diakibatkan oleh meletusnya gelembung udara ke daerah bertekanan tinggi sehingga menyebabkan hilangnya energi mekanik yang disebut dengan kavitasi . Untuk menghindari efek kavitasi di bawah tirai luapan harus diberikan pengudaraan yang cukup.

2. 6. 1. Kondisi Aliran Modular

Berdasarkan persamaan energi dan persamaan kontinuitas diturunkan persamaan sebagai berikut



Gambar 2.7. Aliran melalui ambang

Dengan menerapkan persamaan energi

$$Z_1 + \frac{V_1^2}{2.g} + \frac{P_1}{\gamma} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2.g}$$

Karena kecepatan air diatas ambang berupa pancaran maka

$P \approx 0$ dan $P_1 / \gamma + Z_1 = h$

$$V_2 = \sqrt{2.g.(h - Z_2 + \frac{V_1^2}{2.g})}$$

debit teoritik yang akan melewati pias setebal dZ adalah V_2. B. dZ

$$dQ = -B\sqrt{2.g} \int_0^h \sqrt{(h - Z_2 + \frac{V_1^2}{2.g})}.dZ$$

$$Q = 2/3.B.\sqrt{2.g} \left| \sqrt{(h - Z_2 + \frac{V_1^2}{2.g})} \right|_0^h$$

$$Q = 2/3.B.\sqrt{2.g} \left| (h + \frac{V1^2}{2.g}) - (\frac{V1^2}{2.g}) \right|^{1,5}$$

maka

$$\mathbf{Q = 2/3.B.\sqrt{2.g.}\ (h)^{1,5}} \qquad \mathbf{(2.14.)}$$

kemudian rumus praktisnya

$$Q = 2,953.\ Cd.\ B.\ (h)^{1,5} \qquad (2.15.)$$

dengan h adalah beda tinggi muka air di hulu

2. 6. 2. Penelitian Empiris

Menurut penelitian Kindsvater dan Carter (Reginald W, Herschy stream Flow Measurment. 1985.). besarnya Cd untuk ambang tajam dapat dihitung dengan formula empiris hasil penelitiannya.

$$Cd = \alpha + \beta \cdot \frac{h}{w}$$

Harga α ,β tergantung kepada perbandingan anatara lebar saluran dengan lebar permukaan saluran (B/ b)

Tabel 2. 2 Perbandingan B/b

B/b	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0
α	0,588	0,589	0,590	0,591	0,592	0,593	0,594	0,596	0,602
β	-0,002	-0,002	0,002	0,006	0,011	0,018	0,030	0,045	0,075

Sumber : Reginald. W. Herschy, Hydrometry Principels and Practices. 1985.

karena pada saluran persegi B/ b = 1 maka rumus di atas menjadi

$$Cd = 0{,}602 + 0{,}075 \cdot \frac{h}{w} \qquad (2.16.)$$

dengan w : tinggi ambang.

h : tinggi permukaan air di hulu

Catatan: formula Kindsvater dan Carter berlaku untuk ambang tajam dengan model kontraksi penuh maupun kontraksi sebagian.

2. 6. 3. Batas Modular

Untuk bendung ambang tajam pada aliran modular harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$h_3 < 2/3 . h_1$

maka batas modular

$h_3 = 2/3 . h_1$

dengan h_1 : tinggi muka air di hulu

h_2 : tinggi muka air diatas ambang

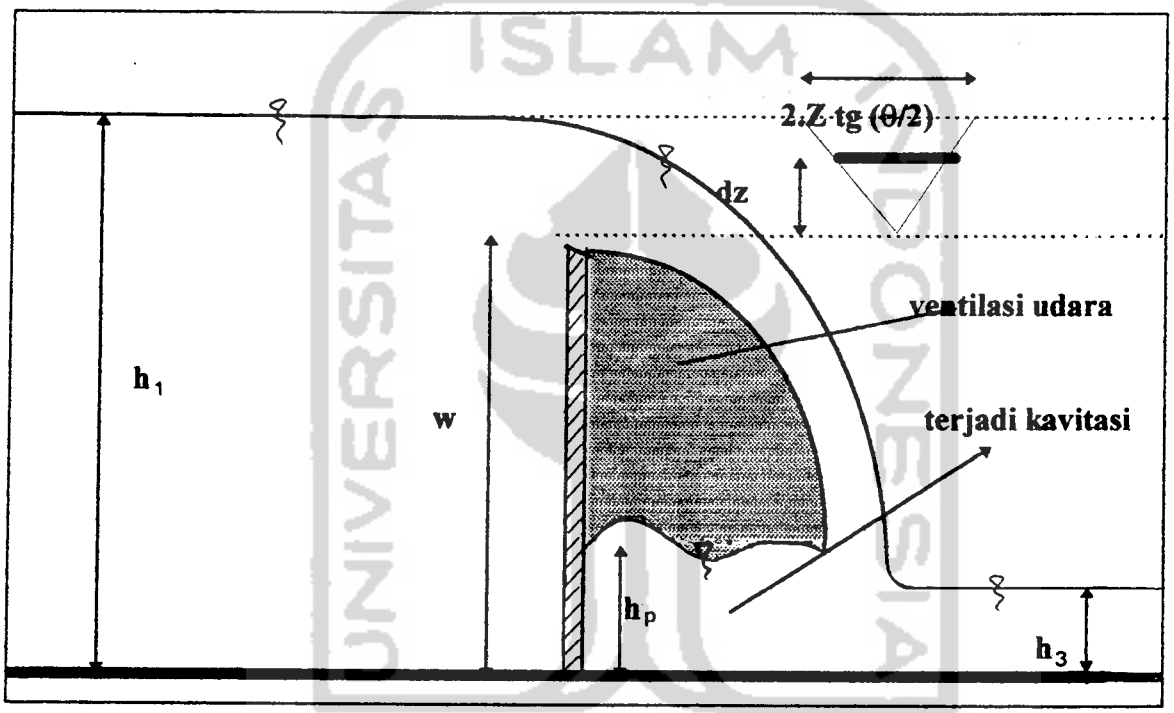
h_3 : tinggi muka air di hilir

2. 7. Bendung Peluap Tipe "V- Notch"

Bendung "V-Notch" termasuk bendung ambang tajam (L ≤ 2 mm), dengan tampang limpasan berbentuk segi tiga.

2. 7. 1. Kondisi Aliran Modular

Pada pelimpah ambang "V-Notch" kecepatan di hulu ambang lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan diatas ambang (Djoko Legono, Nizam, Hydraulics Eksperiment, PAU Ilmu Teknik UGM. 1988.) Dengan demikian persamaan yang diperoleh sama dengan debit yang keluar.



Gambar 2. 8. Aliran melalui "V-Notch" debit dengan lebar pias dZ

$$Q = \sqrt{2}.g \int_0^h B\sqrt{(h - Z)}\, dZ$$

karena b = 2. Z. tg (θ / 2) dan y = h - z ; maka

$$Q = 2.\,tg\,(\,\theta/2\,)\,\sqrt{2.g}\int_{0}^{h}(\,y\,)^{1/2}\,dy$$

$$= \frac{8}{15}\,\sqrt{2.g}\;tg(\theta/2)(h)^{5/2}$$

Model pelimpah yang digunakan mempunyai sudut pelimpah = 25,321° sehingga menjadi :

$$Q = \frac{8}{15}\sqrt{2.g.}\;(h)^{5/2}$$

$$\mathbf{Q = 2,362.\,(h)^{5/2}} \qquad \textbf{(2.17.)}$$

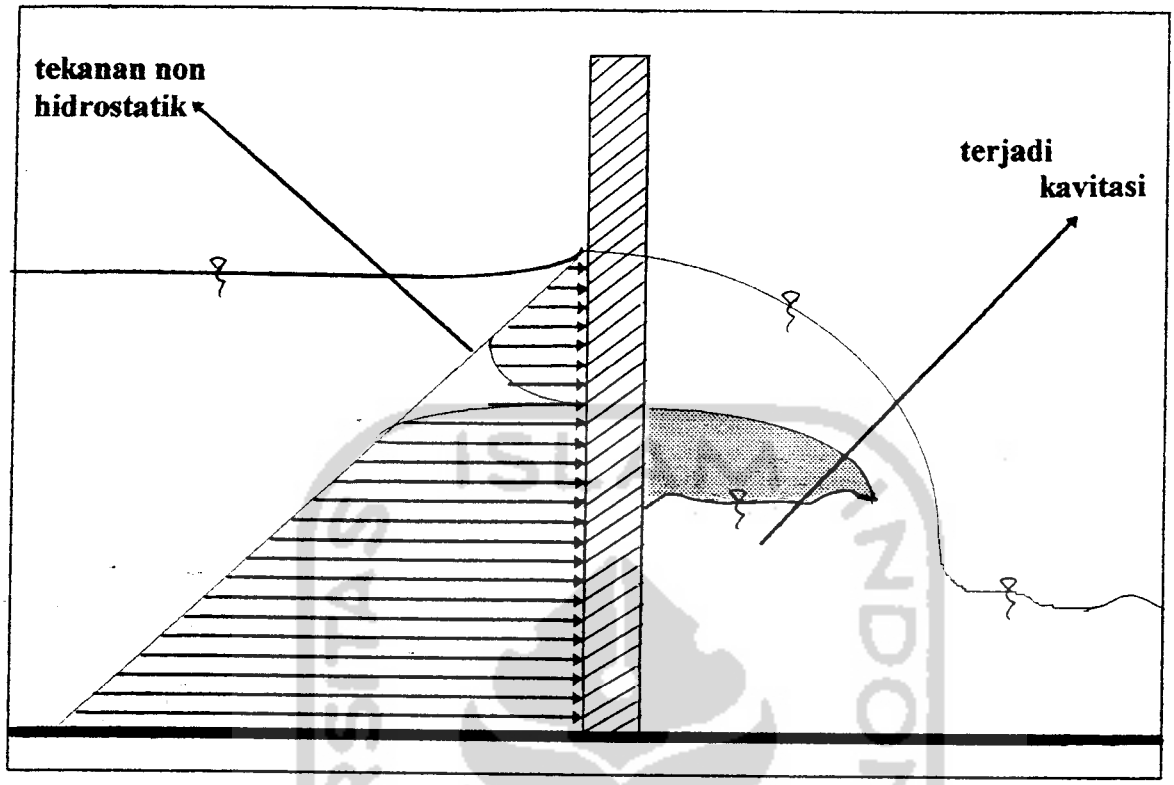
Persamaan (2.17.) merupakan rumus teoritis yang didasarkan pada asumsi:

a. di hulu pelimpah aliran seragam dan tekanan yang terjadi hidrostatik,

b. aliran di atas ambang dianggap sejajar dan mendatar serta tinggi alirannya sama dengan di hulu ambang, dan

c. tekanan sekeliling aliran diatas ambang adalah tekanan atmosfir.

Tetapi pada kenyataannya aliran diatas ambang membentuk hidrostatik (Working Group Hydraulics Structure Discharge Measurment Structure, I L R I Wegenigen Nederland 1988.).



Gambar 2. 9. Distribusi tekanan di hulu

Sehingga asumsi diatas tidak sepenuhnya terpenuhi, maka persamaan tersebut perlu dikoreksi dengan mengalikan koefisien debit (Cd), sehingga persamaan diatas menjadi :

$$Q = 3{,}54.\ Cd.\ (h)^{5/2} \qquad (2.18.)$$

2. 7. 2. Hasil Penelitian Empiris

Hasil penelitian empiris koefisien debit ambang "V-Notch" yang pernah dilakukan para ahli hidraulika eksperimen diperoleh nilai koefisien debit ambang tajam sebagai berikut (Reginald W, Herschy, Stream Flow Measurment. 1988.).

Tabel 2. 3. Koefisien debit pelimpah ambang "V - Notch"

h m	Cd	Q	h	Cd	Q
0,060	0,6032	0,001257	0,120	0,5885	0,006935
0,061	0,6028	0,001309	0,121	0,5883	0,007079
0,062	0,6023	0,001362	0,122	0,5882	0,007224
0,063	0,6019	0,001417	0,123	0,5881	0,007372
0,064	0,6015	0,001473	0,124	0,5880	0,007522
0,065	0,6012	0,001530	0,125	0,5880	0,007673
0,066	0,6008	0,001588	0,126	0,5879	0,007827
0,067	0,6005	0,001648	0,127	0,5878	0,007982
0,068	0,6001	0,001710	0,128	0,5877	0,008139

Sumber : Reginald W. Herschy ,Stream flow measurement 1988

2. 8. Ikhtisar

Dari kajian pustaka dapat menentukan jenis eksperimen yang dilakukan, yaitu eksperimen evaluasi yang bertujuan membuat evaluasi koefisien debit untuk melengkapi persamaan teorotis pada model alat ukur debit yang disebabkan oleh pengabaian sifat dasar zat cair dan aliran.

Dengan melakukan pengukuran di laboratorium hidraulika Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia akan diperoleh beberapa variabel yang mempengaruhi koefisien debit seperti debit aliran, panjang ambang pada ambang lebar, dan koefisien kontraksi pada pintu sorong.

Setelah memperoleh nilai koefisien debit dari pengukuran maka hasilnya diperbandingkan dengan persamaan koefisien empiris pada kajian pustaka. Bila

dijumpai penyimpangan hasil harus dijelaskan dan di cari kemungkinan sumber kesalahan dengan kajian pustaka dan landasan teori.

BAB III
LANDASAN TEORI

3. 1. Pendahuluan

Aliran air di dalam saluran terbuka mempunyai sifat khusus, bila dibandingkan dengan aliran air di dalam pipa, yaitu antara lain :

a. aliran air pada saluran terbuka memiliki permukaan bebas("free surface"),

b. tekanan air pada permukaan bebas, sama dengan tekanan atmosfir, dan

c. terjadinya saling tergantung antara jari-jari tampang basah, kekentalan zat cair, kemiringan dasar saluran, kekasaran dasar, dan bervariasinya geometrik saluran.

Penyelesaian masalah aliran dalam saluran terbuka lebih sulit bila dibadingkan dengan aliran dalam pipa, karena terjadinya saling tergantung pada sifat kekentalan zat cair, gravitasi, dan kondisi hidrolik saluran (Ven Te Chow, Hidrolika Saluran Terbuka, 1985.).

3. 2. Klasifikasi Aliran

Dalam mengklasifikasi sifat aliran pada saluran terbuka, dengan menggunakan beberapa parameter yang berdasarkan pada perubahan kedalaman aliran dengan mempertimbangkan fungsi waktu dan ruang.

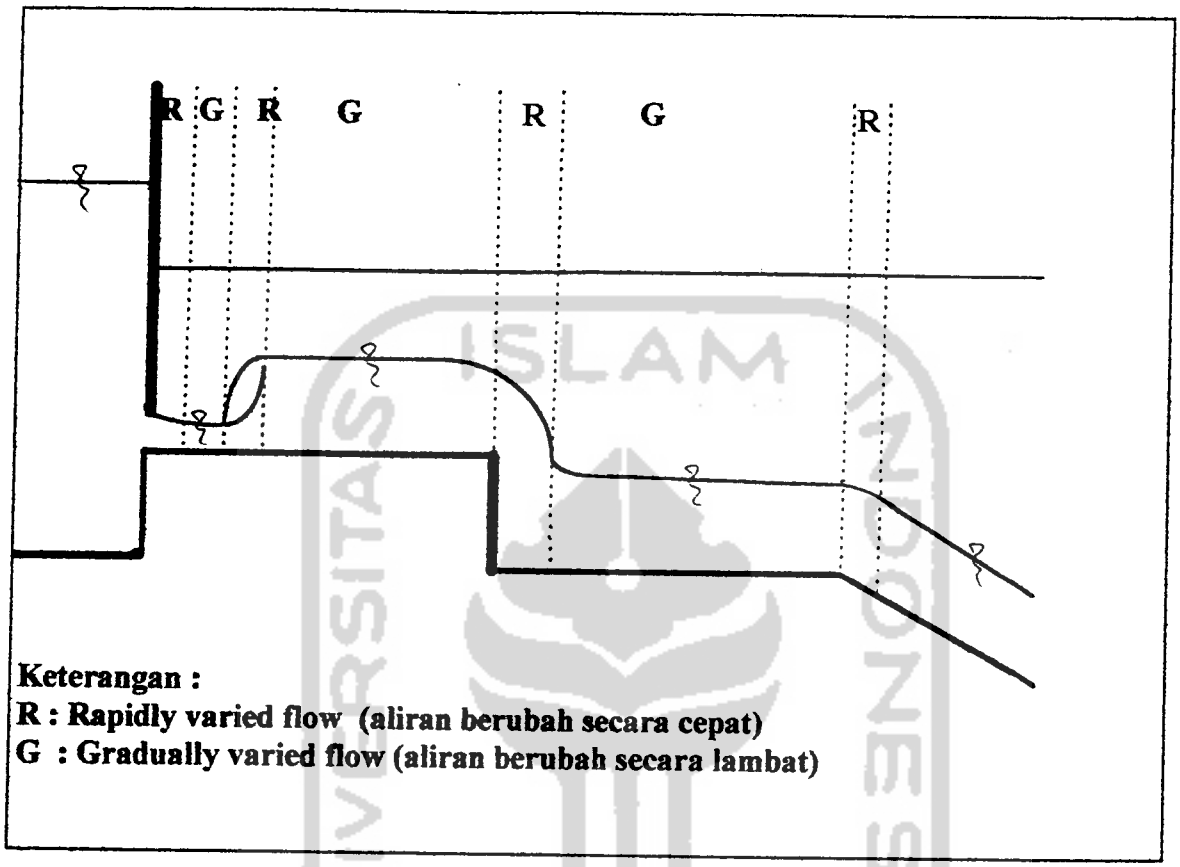
Berdasarkan fungsi waktu, aliran dapat diklasifikasikan sebagai :

a. aliran permanen ("steady flow"), adalah suatu pengaliran pada suatu titik dalam penampang, besar debit, kecepatan, dan tekanan tidak berubah dengan waktu. (dQ/ dt = 0, dv/ dt = 0, dp/ dt = 0), dan
b. aliran tidak permanen("unsteady flow"), adalah suatu pengaliran disuatu titik dalam penampang, besar debit, kecepatan ,dan tekanan berubah dengan waktu. (dQ/ dt ≠ 0, dv/ dt ≠ 0, dp/ dt ≠ 0). Misalnya aliran pada gelombang banjir.

Berdasarkan fungsi ruang, aliran dapat dibedakan sebagai :

a. aliran seragam ("uniform flow") apabila kedalaman aliran disetiap tampang saluran adalah sama, dan
b. aliran tidak seragam ("ununiform flow") apabila kedalaman aliran berubah sepanjang saluran. Aliran ini dapat berupa :
    1. "gradually varied flow" apabila aliran berubah sacara lambat pada jarak yang relatif panjang.
    2. "rapidly varied flow" apabila kedalaman aliran berubah secara cepat pada jarak yang relatif pendek.

Untuk lebih jelasnya, dapat di lihat pada gambar (3. 1.). yang menerangkan klasifikasi aliran.



Gambar 3. 1. Klasifikasi Aliran

3. 3. Kondisi Aliran

Kondisi aliran ditentukan oleh kekentalan kinematik dan gaya inersianya. Aliran disebut laminer bila pengaruh kekentalan kinematiknya lebih besar dari gaya inersianya. Aliran disebut turbulen jika pengaruh gaya inersianya lebih besar dari pada kekentalan kinematik zat cair tersebut. Pada aliran laminer partikel akan bergerak mengikuti pola aliran yang halus berupa garis aliran yang sejajar. Pada aliran turbulen, partikel air bergerak mengikuti pola aliran yang tidak menentu.

Untuk menentukan kondisi suatu aliran termasuk aliran laminer atau turbulen, maka digunakan interval kesamaan yang disebut bilangan Reynold ("Reynold number")

$$\mathbf{Re} = \frac{\mathbf{V.R}}{\nu} \qquad (3.1.)$$

dengan Re : bilangan Reynold

V : kecepatan aliran (m/s)

L : panjang karakteristik (m)

pada saluran muka air babas L = R

R : jari-jari hidrolik saluran

ν : kekentalan kinematika (m/ s)

Untuk menetukan kondisi aliran kritik, super kritik, sub kritik digunakan interval kesamaan yang disebut bilangan Froude yang di difinisikan sebagai :

$$\mathbf{Fr} = \frac{\mathbf{V}}{\sqrt{\mathbf{g.h}}} \qquad (3.2.)$$

dengan Fr : bilangan Froude

V : kecepatan rata-rata aliran (m/ s)

g : gaya gravitasi

h : kedalam hidrolik.

Pada Fr = 1, maka aliran dinyatakan sebagai aliran kritik, sedangkan apabila Fr < 1, maka kondisi aliran disebut aliran sub kritik, dan disebut seper kritik apabila

Fr > 1 . Pada aliran sub kritik, kecepatan aliran lebih kecil dari pada kecepatan gelombang elementer, pada aliran ini disebut sebagai aliran mengalir. Sedang pada aliran super kritik, alirannya mempunyai kecepatan lebih besar dibanding dengan kecepatan rambatan gelombang elementer ($v = \sqrt{g.h}$). (Budi Wignyosukanto, Hidrolika Saluran Terbuka, 1991.).

3. 4. Persamaan Dasar Aliran

Ada tiga persamaan dasar aliran yang harus dipatuhi dalam menyelesaikan permasalahan hidrolika, khususnya hidraulika saluran terbuka yakni :

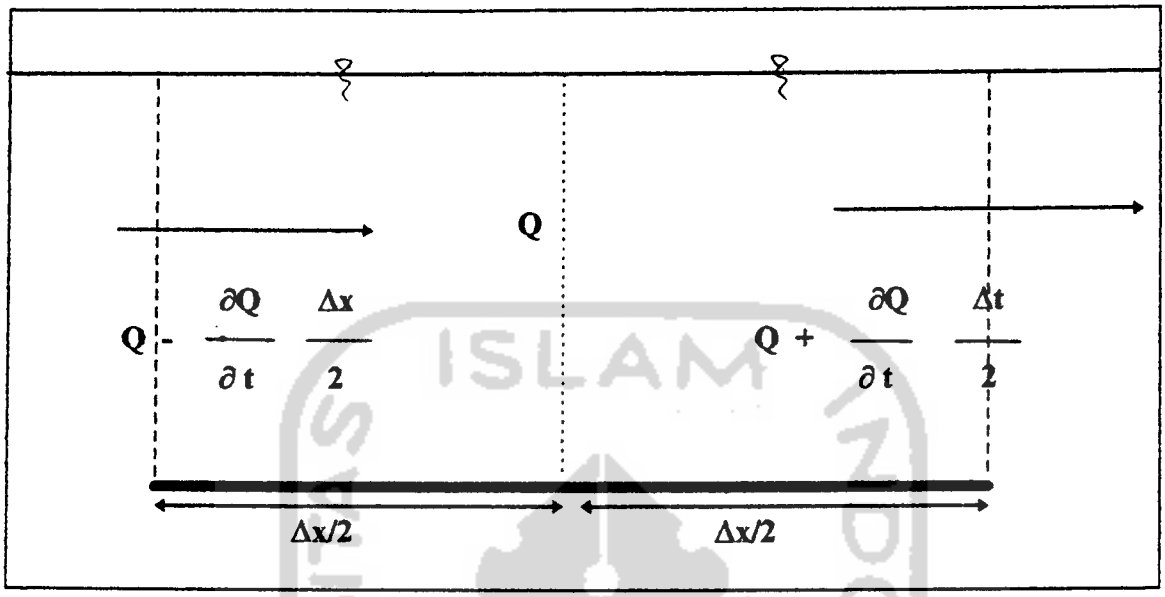
1. hukum Persamaan Kontinuitas
2. hukum Persamaan Energi
3. hukum Persamaam Momentum

2. 4. 1. Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas didasarkan pada hukum konservasi masa. Untuk aliran permanen menyatakan bahwa debit di sepanjang saluran adalah tetap. Jika terdapat sistem aliran maka volume yang masuk sistem aliran sebanding dengan perubahan volume aliran.

Ditunjukkan pada gambar (3. 2.), maka dapat diturunkan persamaan kontinyuitas sebagai berikut:

$$\left[\left(Q - \frac{\partial Q}{\partial X} \cdot \frac{\Delta X}{2}\right) - \left(Q + \frac{\partial Q}{\partial X} \cdot \frac{\Delta X}{2}\right)\right] . \Delta t = - \frac{\partial Q}{\partial X} . \Delta X . \partial \Delta$$



Gambar 3. 2. Sistem aliran

$$- \frac{\partial Q}{\partial X} \Delta X . \Delta t = \frac{\partial A}{\partial t} \Delta X . \Delta t$$

karena luas tampang aliran tetap, tidak berubah dengan waktu maka

$$\frac{Q}{\partial x} = 0$$

sehingga

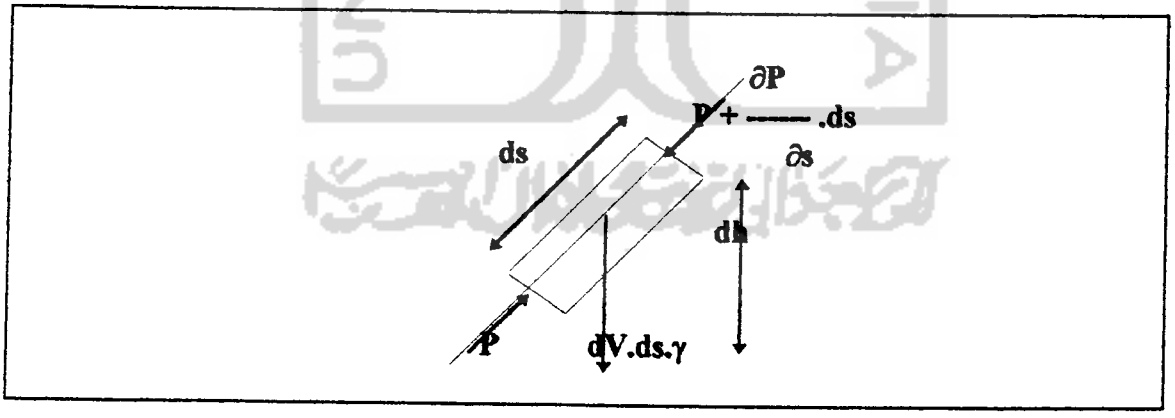
$Q = A. V = \text{konstan}$;

atau

$$Q = A_1 . V_1 = A_2 . V_2 \qquad (3.3.)$$

3. 4. 2. Persamaan Energi

Persamaan energi didasarkan pada hukum konservasi energi, yang menyatakan bahwa tinggi energi aliran yang masuk sistem dan tinggi energi aliran yang keluar melalui sistem selalu tetap. Gaya-gaya yang bekerja pada sebuah partikel zat cair riil yang bergerak terdiri dari gaya berat (w), gaya gesek (μ) akibat adanya kekentalan (η) zat cair dan gaya-gaya luar. Namun mengingat bahwa zat cair yang mengalir diasumsikan zat cair ideal. Dengan demikian sifat zat cair yang bergerak secara permanen hanya dikenai gaya berat dan tekanan hidrostatik. Di pandang sebuah partikel air sepanjang ds, luas tampang dA, pada sebuah garis aliran, seperti pada gambar (3. 3.).



Gambar 3. 3. Garis aliran

Volume partikel tersebut dV = dA. ds sedangkan berat dV . γ = dA. ds. γ

Menurut hukum Newton II , jumlah gaya-gaya yang bekerja pada sebuah benda adalah sama dengan masa benda tersebut dikalikan percepatan benda tersebut, yang ditunjukkan pada gambar (3. 3.)

$$\Sigma F = m.a \qquad (3.4.)$$

$$P.\,dA - \left(P + \frac{\partial P}{\partial s}.ds\right).dA.\,ds.\,\gamma.\,\text{Cos}\,\alpha$$

$$= \frac{dA.ds.\,\gamma}{g}\,.\,a$$

$$-\frac{\partial P}{\partial s}.\,ds.\,dA - dA.\,ds.\,\gamma\,.\,\cos\alpha = \frac{dA.\,ds.\,\gamma}{g}\,.\,a$$

Jika masing-masing komponen persamaan diatas dibagi dengan γ. dA. ds. maka akan diperoleh :

$$\frac{1}{\gamma}\cdot\frac{\partial P}{\partial s} + \cos\alpha - \frac{a}{g} = 0$$

$$\text{Karena } a = \frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial V}{\partial s}\cdot\frac{\partial s}{\partial t} = \frac{V}{\partial s}.V$$

$\cos \alpha = \frac{\partial h}{\partial s}$ maka persamaan menjadi

$$\frac{1}{\gamma} \cdot \frac{\partial P}{\partial s} + \frac{\partial h}{\partial s} + \frac{\partial V}{\partial s} \cdot \frac{\partial V}{g} = 0$$

$$\frac{\partial P/\gamma + \partial h + \partial V. V}{\partial s} = 0$$

maka

$$h_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2.g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2.g} + h_2 \qquad (3.5.)$$

dengan V : kecepatan aliran

P : tekanan atmosfir

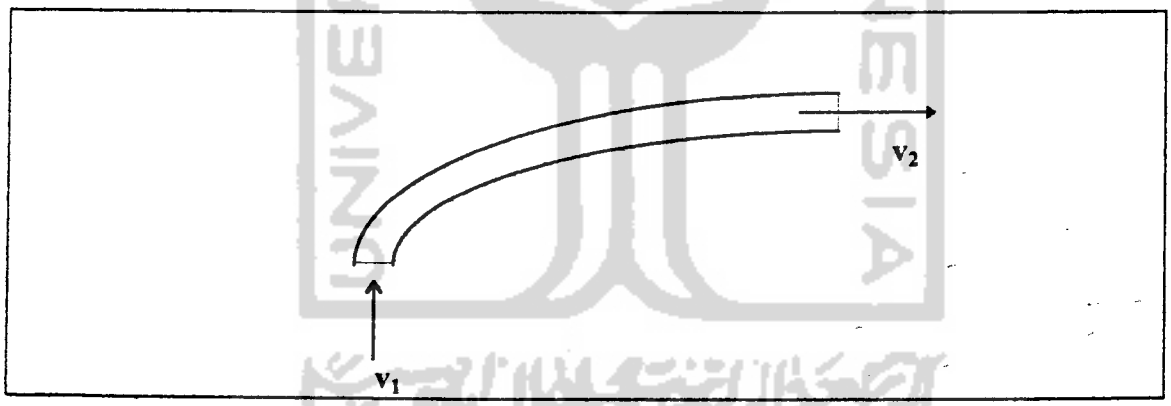
γ : berat jenis zat cair

g : percepatan grafitasi

3. 4. 3. Persamaan Momentum

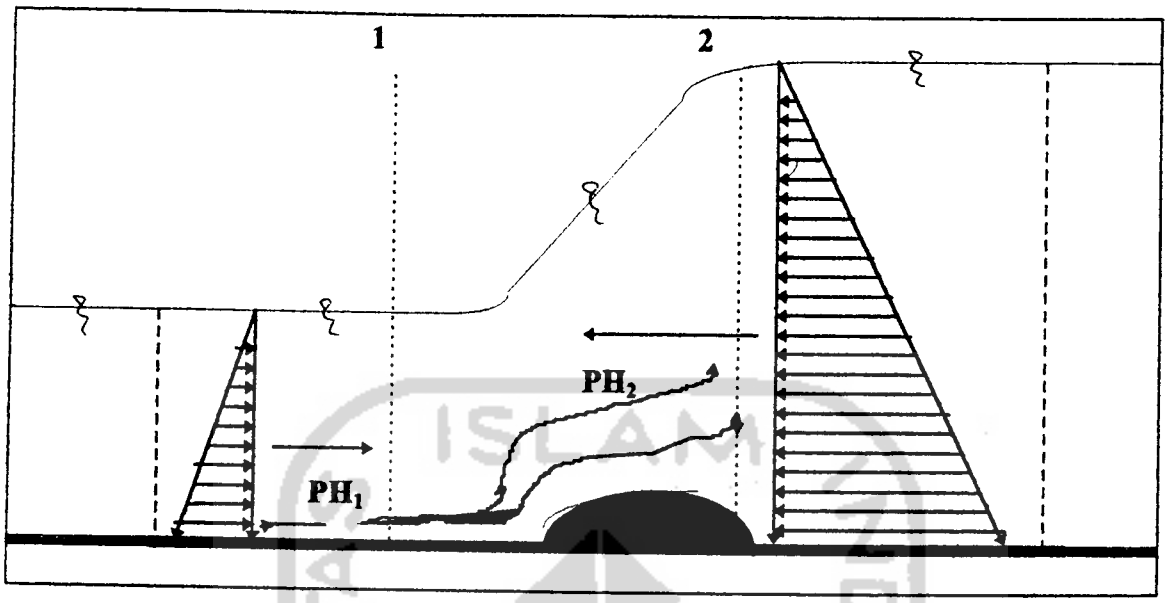
Prinsip Hukum konservasi momentum adalah pada aliran zat cair menyatakan bahwa, untuk setiap arah tertentu, komponen resultan gaya yang bekerja pada zat cair sama dengan komponen momentum. Persatuan waktu yang meninggalkan sistem aliran dikurangi dengan komponen momentum persatuan waktu yang masuk sistem tersebut, dan dinyatakan dalam persamaan :

$$\Sigma P = \rho.Q.V_2 - \rho.Q.V_1 \qquad (3.6.)$$



Gambar 3. 4. Pipa aliran

Kemudian penerapan prinsip momentum pada saluran terbuka dijelaskan dengan memperhatikan sebuah saluran pendek mendatar, seperti ditunjukkan gambar (3. 5.).



Gambar 3. 5. Gaya-gaya pada aliran

Perbedaan tinggi muka air antara tampang satu dan dua disebabkan oleh sebuh penghalang pada dasar saluran yang menimbulkan gaya P pada aliran. Karena aliran permanen, maka prinsip persamaan momentum aliran pada tampang satu dan dua adalah sebagai berikut :

$$PH_1 - PH_2 - P = \rho . Q . (V_2 - V_1)$$

dengan PH_1 dan PH_2 adalah tekanan hidraustatik tampang 1 dan 2, untuk saluran persegi besarnya adalah :

$$PH_1 = 1/2 . \gamma . B . h_1^2 \text{ dan } PH_2 = 1/2 . \gamma . B . h_2^2$$

dengan h_1, h_2 adalah aliran tampang satu dan dua diperoleh :

$$B. h_1^2 . - 1/2. \gamma . B. h_2^2 - P = \gamma / g. [Q. (V_2 - V_1)]$$

jika dibagi dengan . γ. maka diperoleh :

$$\frac{P}{\gamma} = \{ 1/2 . B. h_1^2 + \frac{Q. V_1}{g} \} - \{ 1/2. B. h_2^2 + \frac{Q. V_2}{g} \}$$

$$\frac{P}{\gamma} = \{1/2. B. h_1^2 + \frac{Q^2}{A_1. g} \} - \{1/2. B. h_2^2 + \frac{Q^2}{A_2. g} \}$$

3. 5. Fenomena Lokal

Perubahan kondisi aliran dari sub kritik ke super kritik atau sebaliknya sering terjadi dalam aliran saluran terbuka. Perubahan tersebut dinyatakan dalam perubahan kedalaman aliran dari taraf tinggi ke taraf terendah atau sebaliknya. Bila distribusi kecepatan sepanjang penampang saluran akibat adanya kekasaran batas, akan bervariasi menurut jaraknya. Dari kondisi aliran tersebut akan mengakibatkan fenomena aliran yang disebut fenomena lokal aliran. Terdapat tiga jenis fenomena lokal antara lain :

1. jatuh bebas ("free over fall")

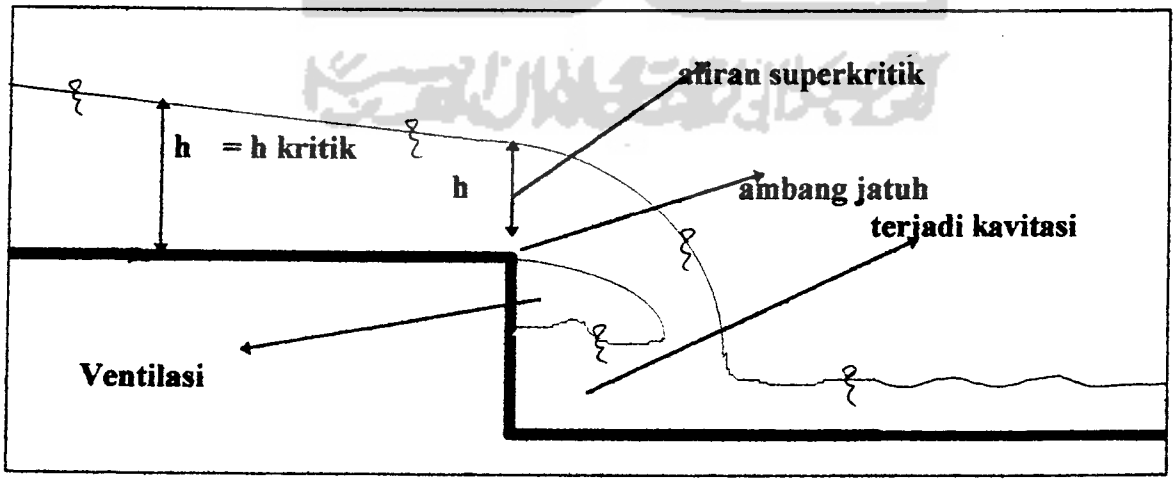
2. joncat air atau disebut loncatan hidrolik ("hydraulics jump"), dan

3. lapis batas ("boundary layer")

4. 5. 1. Fenomena Jatuh Bebas

Fenomena jatuh bebas adalah perubahan kedalaman aliran yang tiba-tiba dari taraf tinggi ke taraf rendah. Fenomena jatuh bebas merupakan masalah khusus dari penurunan hidrolik. Hal ini terjadi bila dasar saluran yang rata tiba-tiba terputus. Bila energi spesifik di hulu adalah Es, energi tersebut akan terus berkurang ke hilir akhirnya mencapai energi minimum (E minimum)

Jika kondisi aliran di hulu mencapai tinggi kritik maka ketinggian muka air akan berkurang ke hilir sampai titik ambang jatuh. Namun energi spesifik pada ambang tidak lebih kurang dari energi minimum. Sehingga kecepatan pada titik ambang jatuh adalah kecepatan super kritik.



Gambar 3. 6. Jatuh bebas

Fenomena jatuh bebas akan mengakibatkan gradien tekanan pada ambang jatuh, Seperti pada gambar (3. 6.) yang diakibatkan oleh lengkung aliran sehingga meninbulkan tekanan non hidraustatik.

Sebuah partikel yang bergerak dengan lintasan melengkung akan mengalami percepatan sentripetal sebesar a.

$$a = \frac{V^2}{r} \qquad (3.7.)$$

dengan V : kecepatan partikel

r : jari-jari kelengkungan lintasan partike

Dari persamaan gerak Euler, pada arah normal aliran ;

$$\frac{V^2}{r} = -\frac{1}{\gamma} \cdot \frac{dP}{dn} + kn$$

dengan P : tekanan

ρ : masa jenis zat cair

dn : differensial arah normal

kn : kurva normal

$$kn = - g. \frac{dh}{dn}$$

maka

$$\frac{V^2}{r} = \frac{1}{\gamma} . \frac{dP}{dn} - g. \frac{dh}{dn}$$

$$\frac{V^2}{g. r} = - \frac{1}{g} . \frac{dP}{dn} - \frac{dh}{dn}$$

sehingga

$$\frac{d}{dn} . \left(\frac{P}{\gamma} + h \right) = - \frac{V^2}{r.g}$$

diintegralkan dari titik satu dan titik dua

$$\left[\frac{P_1}{\gamma} + h_1 \right] - \left[\frac{P_2}{\gamma} + h_2 \right] = 1/ g . \int_1^2 \frac{V}{r} \, dn \qquad (3.8.)$$

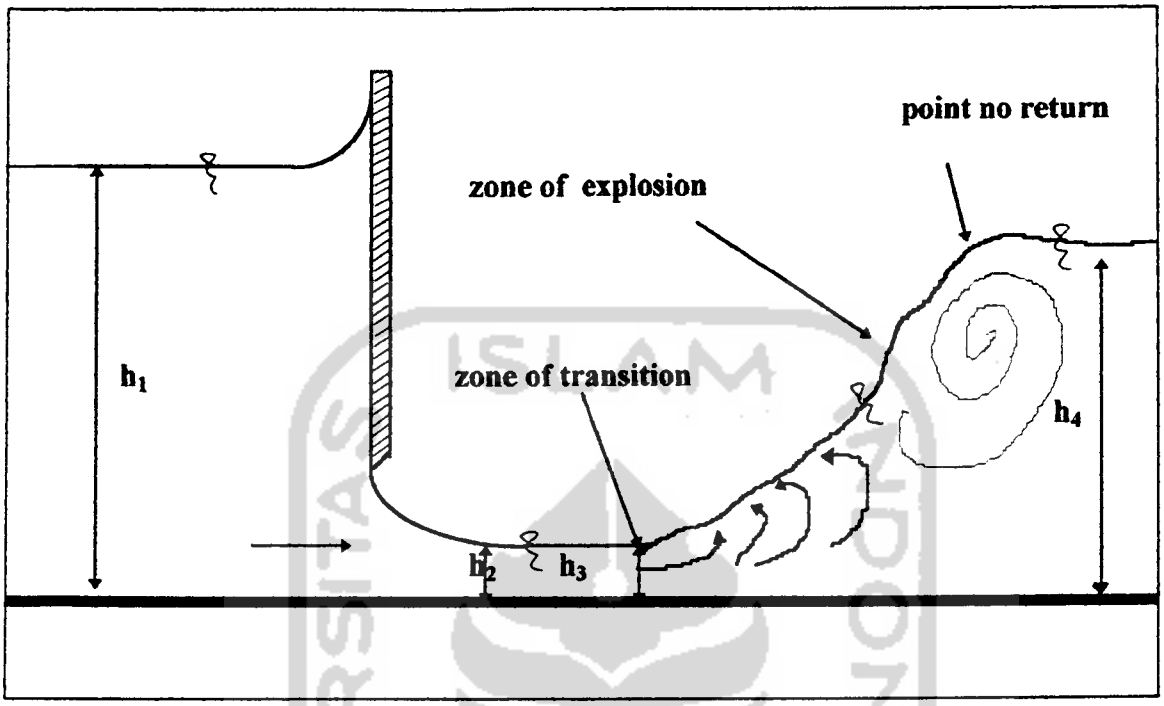
Jadi integral percepatan centripetal merupakan hasil selisih tekanan yang menunjukkan bahwa aliran dengan bentuk lengkung dengan jari-jari r, distribusi tekanannya bukan hidraustatik karena disebabkan oleh tekanan dipengaruhi pada variabel aliran. Atau dapat disimpulkan bahwa adanya aliran yang melengkung, akan menyebabkan kehilangan tinggi tekanan pada aliran "pizometrik", seperti di tunjukkan pada gambar (2. 1.)

Fenomena jatuh bebas akan terjadi bila pada bendung ambang tajam dan ambang lebar dengan aliran yang dilewati ambang berupa pancaran akan menimbulkan tekanan negatip di bawah tirai luapan yang disebut kavitasi. Untuk menghindari efek kavitasi, di bawah tirai luapan maka harus disediakan ruang pengudaraan (Working Group of Hydraulics Structure, Discharge Measurment 1988.).

3. 5. 2. Loncat Air

Loncat air terjadi apabila aliran super kritik harus berubah kedalam aliran sub kritik. Terdapat suatu kenaikan yang tiba-tiba sehingga menghasilkan kehilangan energi dan perputaran permukaan yang besar mulai dari awal loncatan sampai mendekati pada loncatan.

Pusaran ini menarik energi dari aliran utama (aliran super kritik), kemudian naik karena pecahnya gelembung udara yang disebabkan oleh gaya apung (Ranga Raju, Open Chanel Flow, 1982.) Seperti ditunjukkan pada gambar (3. 8.).



Gambar 3. 7. Profil loncatan air

Untuk saluran datar yang berbentuk empat persegi, sebelum loncatan dan setelah loncatan maka berdasarkan hukum konservasi momentum dan konservasi masa.

Gambar (3. 7),terlihat bahwa loncat air terjadi bila aliran dari h_3 menjadi h_4 melalui titik transisi ("zone of transition"). Jadi loncat air terjadi jika terdapat perubahan sifat aliran dari super kritik ke sub kritik melalui h_{kr} (h_3).

Hubungan h_3 dan h_4 dengan mudah dapat diperoleh dengan syarat $F_1 = F_2$ (hukum konservasi masa dan hukum konservasi momentum).

$$\frac{Q_3^2}{g.\,A_3} + \Delta Z_3.\,A_3 = \frac{Q_4^2}{g.\,A_4} + \Delta Z_4.\,A_4$$

untuk saluran persegi panjang :

$$\frac{V_3^2.\,B.\,h_3}{g} + \frac{h_3^2.\,B}{2} = \frac{V_4^2.\,B.\,h_4}{g} + \frac{h_4^2.\,B}{2} \qquad (3.9.)$$

Karena

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g.\,h}}$$

$$\mathbf{Fr} = \frac{\mathbf{V^2}}{\mathbf{g.\,h}} \qquad (3.10.)$$

Berdasarkan hukum konservasi masa

$$Q_3 = Q_4$$

$$V_3.\,h_3.\,B = V_4.\,h_4.\,B$$

$$V_4 = V_3 \frac{h_3}{h_4} \qquad (3.11.)$$

Dari (3. 8.) dan (3. 9.) dimasukan ke persamaan (3. 10.) maka diperoleh ;

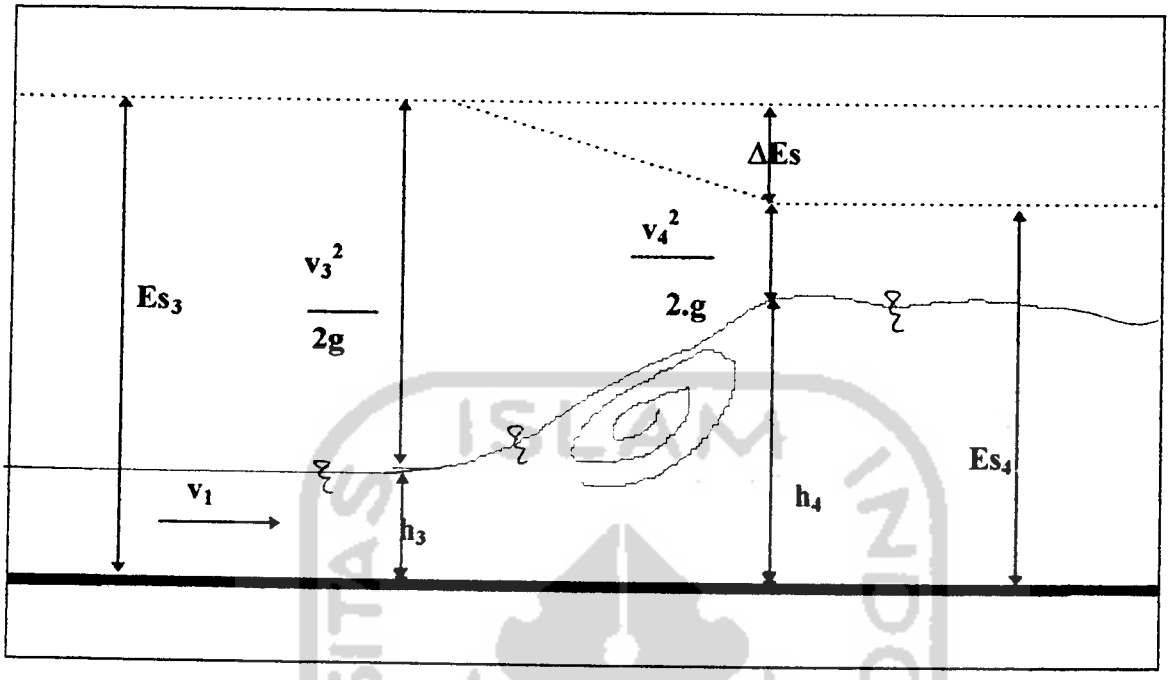
$$Fr_3 . h_3^2 + \frac{h_3^2}{2} = Fr_3^2 \frac{h_3^2}{h_4} + \frac{h_4^2}{2}$$

$$Fr_3^2 - h_3^2 . \left| 1 - \frac{h_3}{h_4} \right| = \frac{h_4^2 - h_3^2}{2}$$

maka

$$\frac{h_4}{h_3} = \frac{\sqrt{(1 + 8. Fr^3)} - 1}{2} \qquad (3.11.)$$

Karena pada loncat air pengalirannya turbulen, berarti kerugian tenaga yang terjadi tidaklah sedikit, maka perlu diketahui besarnya kehilangan tenaga aliran.



Gambar 3. 8. Kehilangan tenaga pada loncat air

dari gambar (3. 8) dan hukum konservasi momentum dapat diturunkan persamaan kehilangan tenaga sebagai berikut:

Prinsip momentum : $(h_1 + h_2).h_1.h_2 = \frac{v_3^2.h_1}{g} = \frac{v_4^2}{g}$

$$Es_3 = h_3 + \frac{v_2^2}{2.g} = h_3 + \frac{(h_3 + h_4).h_4}{4.h_3}$$

$$Es_3 = h_4 + \frac{v_4^2}{2.g} = h_4 + \frac{(h_3 + h_4).h_4}{4h_4}$$

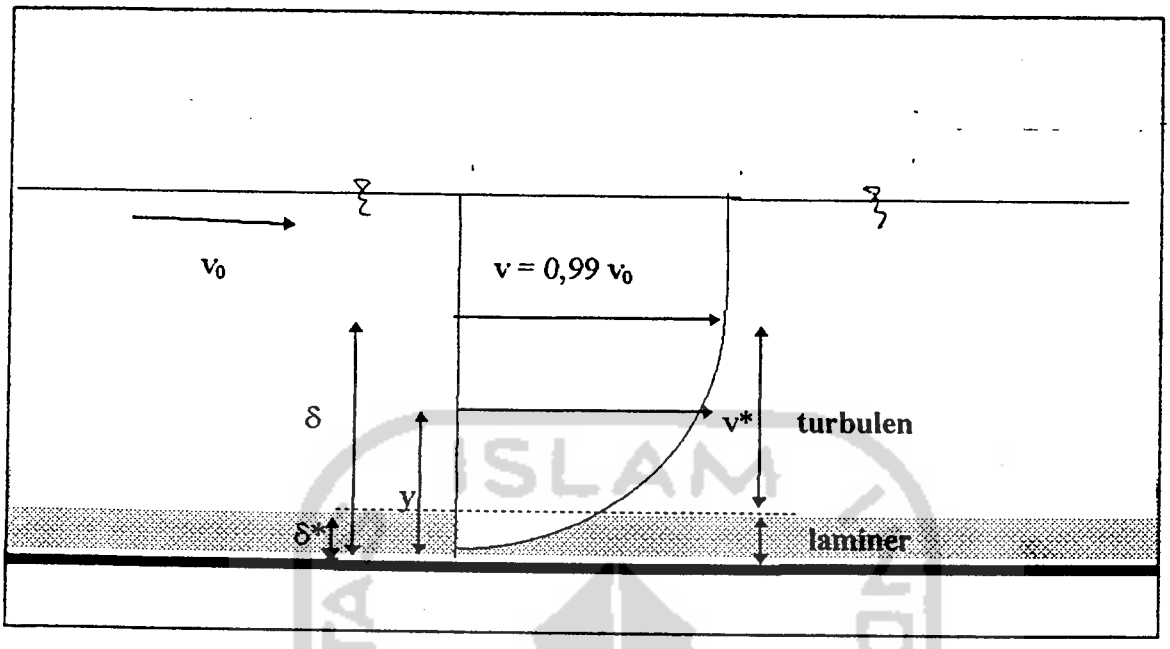
$$\Delta Es = Es_1 - Es_2 = \frac{(h_4 - h_3)^3}{4.h_3.h_4}$$

$$\Delta Es = \frac{(h_4 - h_3)^3}{4.h_3.h_4} \qquad (3.12.)$$

2. 5. 3. Fenomena Lapis Batas

Pada tahun 1904 seorang insinyur Jerman, Ludwig Prandlt menunjukkan bahwa aliran fluida yang kekentalannya rendah seperti aliran air pada zat cair ideal dan udara dapat diklasifikasikan menjadi lapisan batas di dekat permukaan zat padat dan lapisan luar yang encer yang memenuhi persamaan Euler dan Bernoulli. Konsep lapis batas ini mampu memadukan antara hidrolika eksperimen dan hidrodinamika.

Bila aliran seragam, stabil dan prismatik dengan kekasaran tetap pola distribusi kecepatannya dapat menruti pola yang tetap, untuk jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3. 9. Pembagian kecapatan pada permukaan saluran yang halus.

Karena lapisan batas tidak terlalu jelas, ketebalannya dapat dinyatakan dengan berbagai cara. Definisi yang umum adalah bahwa ketebalan δ merupakan besaran jarak normal dari permukaan batas di mana kecepatan v_1 sama dengan 99% dari kecapatan batas v_0, dengan kurva pembagian kecapatan di lapisan batas berbentuk asimtotis seperti pada gambar (3. 9.).

Efek lapisan batas terhadap aliran sama dengan perpindahan semu ke atas dari dasar saluran ke tempat sebenarnya yang setara dengan apa yang disebut tebal perpindahan ("displacement thickness") δ* . Seperti ditunjukkan pada gambar (3. 9.) yang dinyatakan dengan :

$$\delta^* = \int_0^{\delta} \left(1 - \frac{v^*}{v} \right) dy \qquad (3.13.)$$

dengan v^* n kecepatan pada jarak y dari permukaan saluran dan v kecepatan di tepi lapisan batas, seperti pada gambar (3. 9.) Besarnya tebal perpindahan biasanya bervariasi dari 1/8 sampai 1/10 tebal lapisan batas yang bergantung terhadap pada besarnya bilangan Reynold. (Ven Tee Chow, Hidrolika Saluran Terbuka, 1985.).

BAB IV
METODOLOGI PENELITIAN

4. 1. Pendahuluan

Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan pengamatan langsung di laboratorium Hidrolika, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Analisis hasil dilakukan setelah penelitian di laboratorium selesai dilakukan.

Kegiatan penelitian yang paling banyak dilakukan adalah pelaksanaan pengukuran, disamping pengamatan terhadap fenomena aliran yang melalui model bangunan air pada kondisi tertentu.

Tujuan dari pelaksanaan pengukuran untuk mengetahui harga antara besaran yang diukur dengan besaran standar. Namun dalam kenyataan setiap kali melaksanakan pengukuran yang diulang-ulang dengan teliti, hasilnya hampir selalu berbeda, meskipun selisihnya kecil. Karenannya dalam proses pengukuran selalu terdapat pembetulan kesalahan atau ralat. Usaha yang harus dilakukan dalam setiap pengukuran adalah memperoleh kesalahan tersebut sekecil-kecilnya.

Oleh karena itu diperlukan suatu teori ralat yang diperlukan untuk mencari harga terdekat dari nilai yang benar, selain dari harga rata-rata.

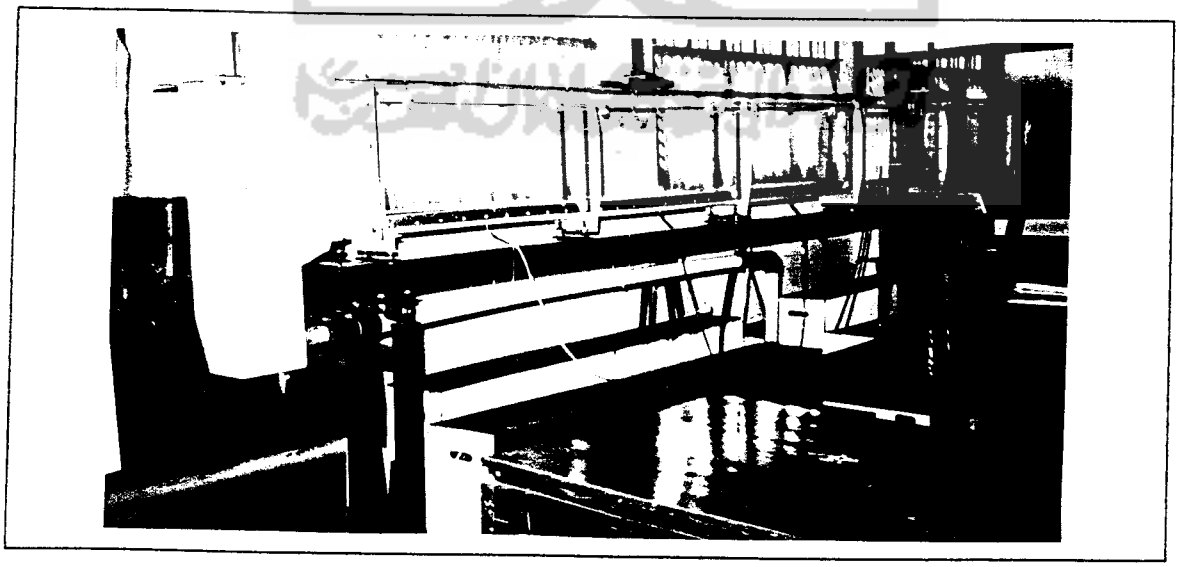
4. 2. Cara Kerja alat

Didalam pelaksanaan penelitian laboratorium, cara kerja alat merupakan bagian yang tak terpisahkan dengan prosedur penelitian diatas.

Perlengkapan utama yang digunakan selama penelitian adalah "glass sided tilting flume" yaitu bagian yang tidak dapat dibongkar (dipisahkan). Jadi merupakan bagian yang menjadi satu kesatuan dalam mendukung berfungsinya "tilting flume", adapun bagian-bagian tersebut adalah sebagai berikut.

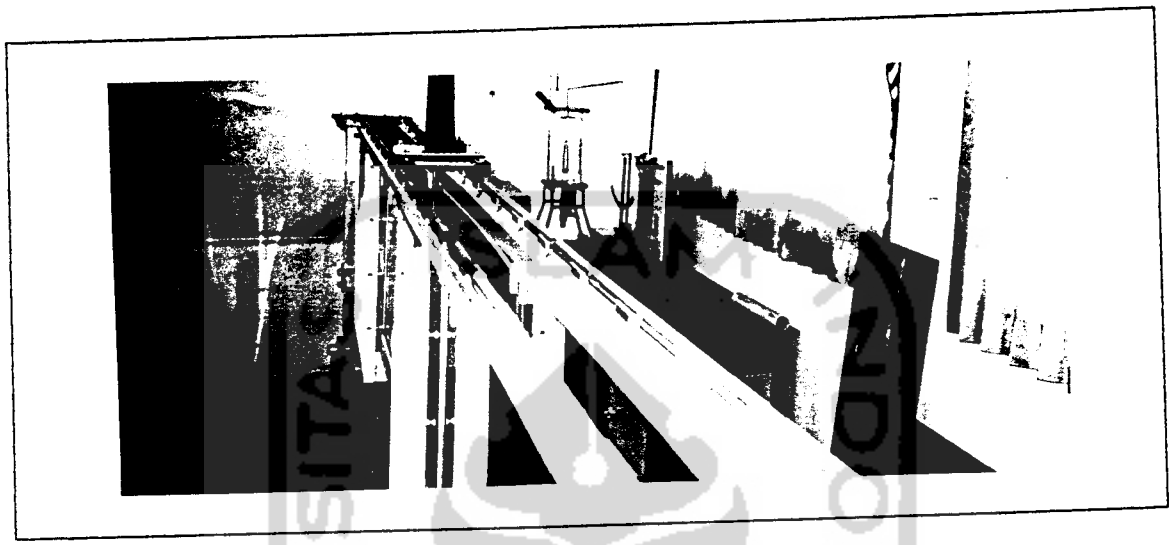
4. 2. 1. Saluran

Dinding saluran terbuat dari kaca campuran dengan ketebalan 1 cm, panjang saluran 6 m, lebar saluran (dalam dinding) 10 cm, dan kedalaman 35 cm. Pada bagian pangkalnya terdapat lubang pemasukan ("intake") dan bagian ujungnya terdapat lubang pengeluran air ("outlet").



Gambar 4. 1. "Tilting flume"

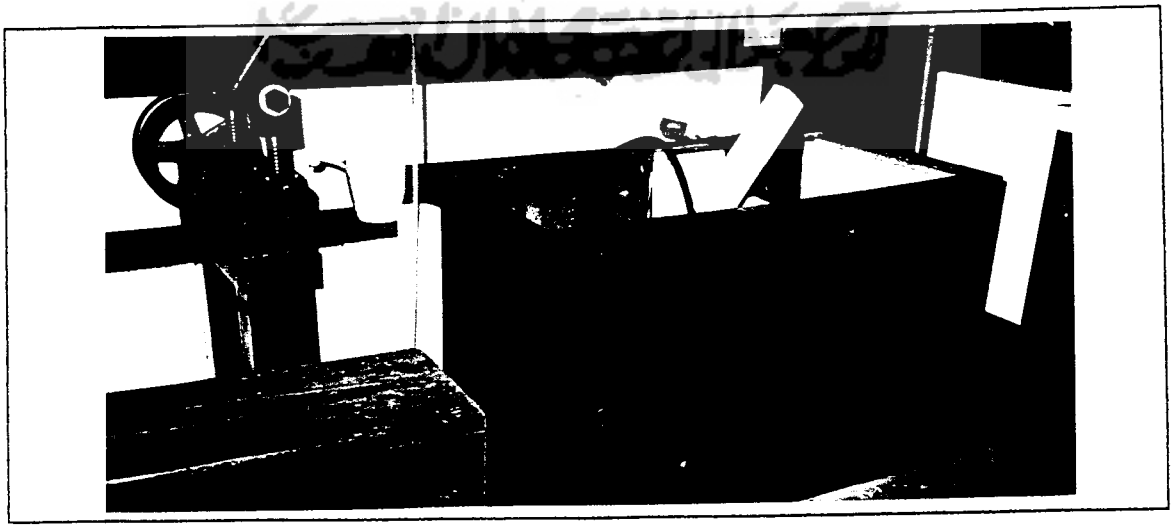
Disepanjang "tilting flume", pada sisi atas terdapat rel sebagai jalur untuk memudahkan pergerakan alat ukur "point gauge".



Gambar 4. 2. Rel "point gauge"

4. 2. 2. Tangki Air

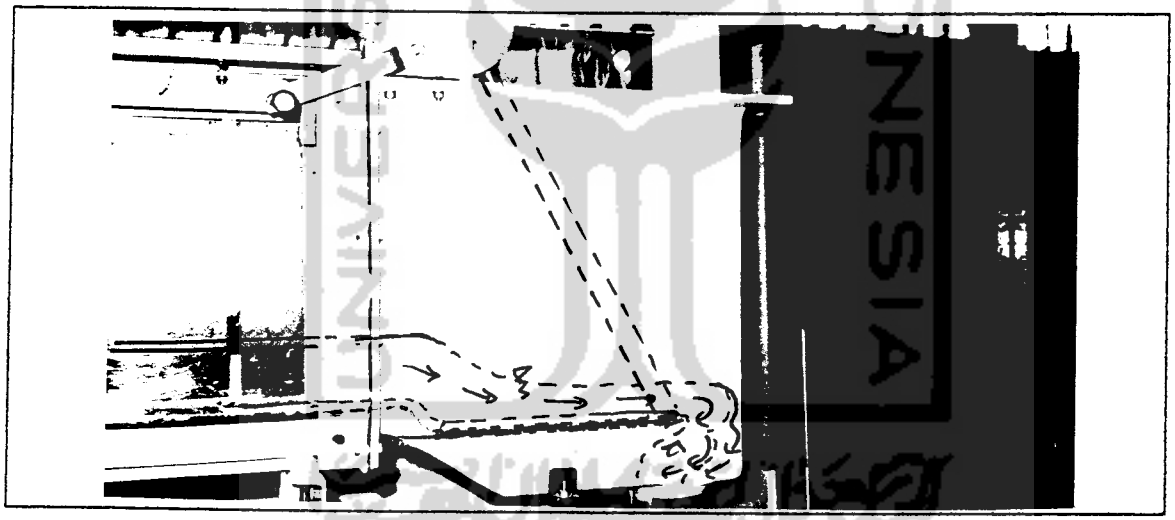
Tangki air digunakan untuk menampung air yang akan dialirkan pada "tilting flume", dan pada bagian lainnya digunakan untuk mengukur debit aliran.



Gambar 4. 3. Tangki penampungan

4. 2. 3. Pelat Pembendungan

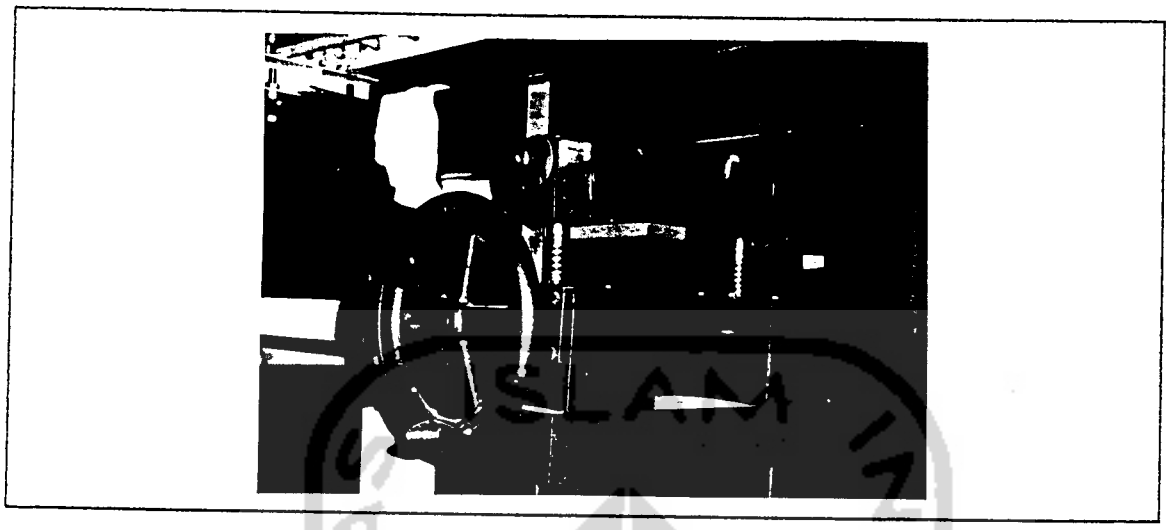
Pelat pembendungan ini terletak didalam saluran pengeluaran (outlet), yaitu sebelum pengeluran. Posisinya dapat diatur dari 0° terhadap dasar saluran sampai 90°. Bila sudut pelat diperbesar, aliran dalam saluran akan terbendung , sehingga membentuk kurva aliran balik ("back water curve")pada "tilting flume". Apabila pelat dalam posisi tidur maka air akan mengalir lepas keluar melalui "outlet", masuk kedalam tangki bagian pengukuran debit atau bagian penampungan.



Gambar 4. 4. Pelat pembendungan didalam saluran "outlet" pada 0°

4. 2. 4. Pengatur Kemiringan Dasar Saluran

Kemiringan dasar saluran dapat diubah-ubah dengan menggunakan sebuah (pemutar) engkol penggerak yang ditempatkan di bawah saluran.



Gambar 4. 5. Pengatur kemiringan dasar saluran

4. 2. 5. Tangki Pengukur Debit

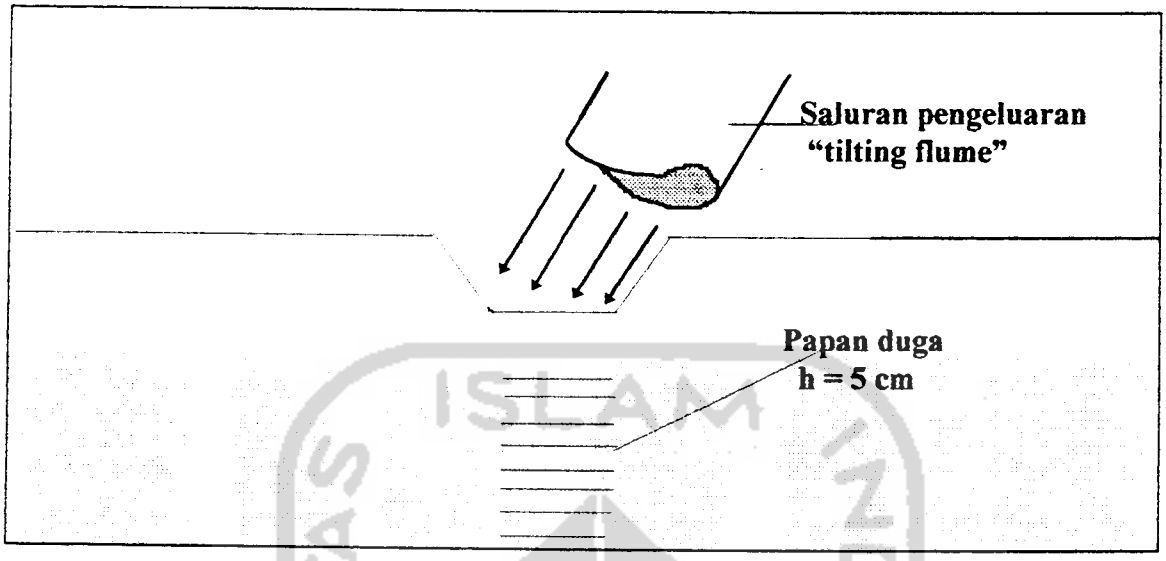
Untuk mengukur debit diperlukan bejana yang telah diketahui volumenya, sehingga dengan mengukur waktu yang diperlukan untuk mengisi volume bejana tersebut dari aliran air yang melewati "tilting flume", maka dapat diketahui debit aliran tersebut. Diketahui bahwa lebar sisi-sisi dari pengukur debitnya 50 cm dan diukur waktu penampungan setiap air melampaui tinggi 5 cm sehingga volume setiap pengukuran sebesar 0,0125 m^3. Seperti pada gambar (4. 6.).

$$Q = \frac{V}{T} \quad (m^3/s) \qquad (4.1.)$$

dengan V : volume tampungan (m^3)

T : waktu penampungan (s)

Q : debit air (m^3/ s)



Gambar 4. 6. Papan duga pada tangki penampung

4. 2. 6. "Point Gauge"

"Point gauge" adalah alat untuk mengukur tinggi permukaan air. Pada komponennya terdapat batang seperti jarum dengan skala ukuran yang diatur panjangnya sehingga menyentuh permukaan air.



Gambar 4. 7. " Point Gauge"

4. 2. 7. "Piezometer"

"Piezometer" yang terdapat pada "tilting flume" terdapat 6 buah tabung, masing-masing tabung dihubungkan dengan selang di bawah dasar saluran setiap jarak 100 cm, dan setiap selang terletak di tengah-tengah antara kedua dinding saluran.

Fungsi "piezometer" untuk mengukur tinggi tekanan atau tinggi permukaan air dan sebagai penunjuk terjadinya fluktuasi aliran pada "tilting flume".



Gambar 4. 8. "Piezometer" terpasang

4. 2. 8. Pompa air, pengatur debit dan "stabilizer"

Pompa air digunakan untuk menaikkan air dari volume tampungan menuju ke "tilting flume".

Kapasitas pompanya adalah sebagai berikut.

Merek pompa : National
Debit maksimum : 340 liter/ menit
Catu daya : 400 watt



Gambar 4. 9. Pompa dan pendukung lainnya

Saat pengoperasian pompa air, sering menunjukkan ketidak setabilan dalam mensuplai air. Hal ini terlihat pada suatu kondisi pengaliran, ketinggian muka air saluran selalu berubah. Untuk mengurangi fluktuasi aliran yang disebabkan oleh pompa maka dipasang "stabilizer" yang berguna untuk mengurangi fluktuasi aliran pompa yang disebabkan oleh fluktuasi tegangan listrik.

Untuk mengatur agar aliran pada "tilting flume" pada debit tertentu, maka diatur dengan kran pengatur debit.

4. 3. Teori Kesalahan

Hidrolika adalah ilmu yang mempelajari fenomena aliran air secara kwantitatif, sehingga masalah pengukuran terhadap besaran fisis mempunyai arti penting. Mengukur adalah membandingkan suatu besaran dengan besaran fisis sejenis dengan besaran standar.

Tujuan dari pengukuran untuk mengetahui nilai besaran yang diukur. Namun setiap kali melakukan pengukuran yang berulang-ulang, hasilnya hampir selalu berbeda meskipun memiliki selisih kecil. Oleh karena itu dalam setiap pengukuran selalu digunakan teori kesalahan sebagai usaha untuk memperoleh data dari penelitian dengan kesalahan sekecil-kecilnya.

4. 3. 1. Perhitungan Ralat

Secara garis besar, kesalahan dalam pengukuran dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu: kesalahan sistematik dan kesalahan stokastik

Faktor-faktor yang mempengaruhi kesalahan sistematik adalah:

1. pada alat. Misalnya kondisi alat yang berubah, ketidak telitian mengkalibrasi alat ukur, dan pengaruh alat terhadap besaran yang diukur,
2. kondisi fisis pengamatan. Misalnya kondisi aliran saat pengamatan yang berfluktuasi sehingga tidak sesuai dengan kondisi yang diharapkan, dan
3. metode pengamatan yang dipakai. Ketidak tepatan pemilihan metode pengamatan akan mempengaruhi nilai pengamatan.

Besaran fisis yang dianggap tetap dengan cara pengamatan yang berulang-ulang sering memberikan hasil yang berbeda-beda, yang diakibatkan oleh kesalahan pengamatan tersebut yang disebut kesalahan stokastik. Sehingga untuk mengurangi atau memperkecil kesalahan maka dilakukan banyak pengulangan pengamatan. Secara garis besar kesalahan stokastik dikelompokkan menjadi dua yaitu:

1. kesalahan pengamatan ("random error"), dan

2. kesalahan rambatan ("propagation error")

Misalnya nilai pengukuran dilakukan n kali dengan hasil tiap kali x_i = $x_1,x_2,x_3,x_4,x_5,.....x_n$ yang disebut harga yang mungkin. Nilai yang terbaik dari nilai yang terukur adalah nilai rata-ratanya yang merupakan nilai paling mungkin.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i)}{n} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 ..... + X_n}{n} \qquad (4.2.)$$

Selisih atau penyimpangan antara nilai yang terukur dengan nilai rata-rata disebut deviasi dengan lambang σ.

$$\sigma = Xi - \bar{X} \qquad (4.3.)$$

Untuk menetukan nilai pengamatan yang mungkin, yaitu dengan menghitung deviasi standart. Deviasi standar adalah akar rata-rata kuadrat deviasinya.

$$Sd = \frac{\sum_{i=1}^{n} (Xi - \bar{X})^2}{n} \qquad (4.5.)$$

Sedangkan nilai kecermatan pengukurannya yaitu diukur dengan prosentase kebenaran

$$S = 100\% - \left(\frac{Sd}{X} . 100\% \right) \qquad (4.5.)$$

Nilai kecermatan dapat dianggap sebagai jaminan akan kebenaran hasil pengamatan. Sedangkan nilai kesalahan relatifnya adalah

$$Sr = \frac{Sd}{X} .100\% \qquad (4.6.)$$

Pembetulan kesalahan rambatan adalah kesalahan yang diperoleh dari kesalahan unsur-unsurnya, oleh karena itu nilai terbaiknya bergantung kepada nilai terbaik unsur-unsurnya. Secara matematis, jika suatu besaran fungsi dari variabel x, y, z . $F = f(x, y, z)$ maka nilai terbaiknya adalah $F = f(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ (harga rata-rata unsur-unsurnya).

Sedangkan kesalahan rambatan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Sf = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial X}\right)^2 . (Sx)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial Y}\right)^2 . (Sy)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial Z}\right)^2 . (Sz)^2} \qquad (4.7.)$$

untuk $x = \bar{x} \pm Sx : y = \bar{y} \pm Sy ; z = \bar{z} \pm Sz$

(Nur Yuwono, 1991, Keluarga Mahasiswa Pasca Sarjana Teknik Sungai dan Pengairan,UGM).

4. 4. Prosedur Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur koefisien debit pada keempat model bendung dan variabel yang mempengaruhi nilai koefisien debit aliran. Sebelum diadakan penelitian "point gauge" terlebih dahulu dikalibrasi pada titik nol .

4. 4. 1. Prosedur Penelitian Pintu sorong

Alat yang digunakan selama penelitian berlangsung adalah sebagai berikut:

1. "tilting flume"
2. model pintu sorong
3. "stop watch"
4. "point gauge"
5. penggaris
6. alat ukur debit (volume tampungan)
7. "plastisin"

Jalannya penelitian

1. diatur saluran hingga mendatar dan pelat pembendungan dalam keadaan terbuka. Dengan bantuan jembatan dan sekrup penguat diletakkan pintu sorong pada titik pengamatan dan diatur tinggi bukaan pintu (h_g) setinggi 20 mm di atas dasar

saluran. dirapatkan bagian tepi pintu dan dinding kaca dengan "plastisin" agar rapat air.

2. dialirkan air ke dalam saluran, dan diatur tinggi muka air di bagian hulu pintu kurang lebih 200 mm dengan menaikkan atau mengurangi debit aliran dan ditunggu sampai diperoleh debit yang tetap (*steady)* kurang lebih 5 menit.
3. diukur debit aliran dengan mengukur waktu penampungan dengan "stop watch", kedalaman air di hulu (h_1), tinggi muka air di hilir (h_2) dan dicatat pada tabel.
4. dinaikkan pintu sorong setiap 5 mm, dan diatur kedalaman muka air di hulu pada 200 mm dengan mengatur debit aliran. Untuk setiap bukaan pintu dilakukan pengamatan yang sama.
5. diulangi percobaan dengan debit tetap Q, dan h_1 berubah sesuai tinggi bukaan. Dihitung koefisien debit aliran dan dibuat grafik hubungan antara koefisien debit dan variabel yang mempengaruhinya.

4. 4. 2. Prosedur Penelitian Bendung Ambang Tajam

Alat yang digunakan selama penelitian adalah:

1. model bendung ambang tajam
2. "stop watch"
3. "point gauge"
4. penggaris
5. alat ukur debit (volume tampungan)
6. "tilting flume"

7. "plastisin"

Jalannya Penelitian

1. diatur saluran mendatar dan diatur pelat pembendungan terbuka penuh. Diletakkan model bendung ambang tajam pada dasar saluran dan dirapatkan sisi dan dasarnya dengan malam *(*"plastisin").

2. dialirkan air ke dalam saluran dengan perlahan-lahan hingga muka air tepat melewati ambang bendung, dihentikan aliran dan dicatat tinggi muka air.

3. diatur debit aliran ke dalam saluran hingga didapat tinggi permukaan air di ambang bendung. Diukur dan dicatat h_1, H dan Q (dengan mengukur waktu penampungan dengan "stop watch"). Dilakukan pengamatan dan pencatatan untuk nilai H dengan interval tinggi muka air di hulu (h_1) sebesar 10 mm.

4. dihitung koefisien debit alirannya dan dibuat grafik hubungan koefisien debit dengan variabel yang mempengaruhinya

4. 4. 3. Prosedur Penelitian Bendung "V-notch"

Adapun alat yang digunakan selama penelitian adalah:

1. "tilting flume"
2. model bendung "v-notch"
3. "point gauge"
4. penggaris
5. "stop watch"
6. alat ukur debit (volume tampungan)

7. "plastisin"

Jalannya Percobaan

1. diatur saluran mendatar dan diatur pelat pembendungan dalam kondisi terbuka penuh. Diletakkan bendung ambang "V-Notch" pada dasar saluran dan dirapatkan sisi dan dasarnya dengan "plastisin".
2. dialirkan air ke dalam saluran dengan perlahan-lahan hingga muka air tepat melewati ambang. Dihentikan aliran dan dicatat tinggi muka air sampai di ambang. Posisi "point gauge" agak ke hulu pada muka air diam tersebut.
3. diatur debit aliran ke dalam saluran hingga diperoleh h_1. Diukur dan dicatat h_1, H dan Q. Dilakukan pengamatan dan pencatatan untuk nilai h_1 dengan interval sekitar 10 mm.
4. dihitung koefisien debit aliran dan dibuat grafik hubungan antara koefisien debit dan variabel yang berpengaruh.

4. 4. 4. Prosedur Penelitian Bendung Ambang Lebar

Adapun alat yang diperlukan pada waktu penelitian adalah sebagai berikut:

1. "tilting flume"
2. model bendung ambang lebar
3. "stop watch"
4. "piont gauge"
5. penggaris
6. "plastisin"

7. alat ukur debit (volume tampungan)

Jalannya penelitian

1. diatur saluran mendatar dan diatur pelat pembendungan dalam keadaan terbuka penuh. Diletakkan model bendung ambang lebar pada dasar saluran dan dirapatkan sisi dan dasar dengan "plastisin".
2. dialirkan air ke dalam saluran dengan perlahan-lahan hingga muka air dapat melewati tepat melalui ambang bendung. Dihentikan aliran, dan dicatat tinggi muka air di ambang. Posisi "Point gauge" agak ke hulu pada muka air diam tersebut.
3. diatur debit aliran ke dalam saluran hingga kedalaman air h_1 (di hulu). Diukur dan dicatat h_2 (tinggi muka air kritik di ambang), debit lairan. Dilakukan pengamatan dan pencatatan untuk nilai h_1 dengan interval 10 mm.
4. dihitung nilai koefisien debit aliran dan dibuat grafik hubungan antara koefisien debit aliran dan variabel yang mempengaruhinya.

BAB V
PELAKSANAAN PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5. 1. Pendahuluan.

Penulis melaksanakan penelitian berupa pengukuran koefisien debit terhadap empat model, selama penelitian sebagian besar peralatan menjadi bagian dari saluran yang dapat beroperasi dengan baik seperti pompa, instrumen "gauge", dan pelat pembendungan. Untuk meniadakan rembesan air di sela-sela antara model dan dasar serta dinding saluran, digunakan malam *(*"plastisin").

Namun terdapat kondisi tertentu yang menyangkut peralatan dan bagian saluran yang dapat menimbulkan kesulitan atau kesalahan dalam pengukuran. Masalah tersebut akan di bahas dalam sub bab berikut.

5. 2. Kondisi "Tilting Flume"

"Tilting flume" memiliki beberapa komponen yang merupakan satu kesatuan dalam pengoperasiannya. Ada dua komponen pada "tilting flume" yang tidak di rubah posisinya :

1. pelat pembendungan. Selalu diusahakan pada sudut 0° terhadap dasar saluran, jika di rubah akan mengganggu pengamatan fenomena aliran karena menimbulkan kurva aliran balik ("back water curve") pada hilir model.
2. pemutar (engkol) adalah pengatur kemiringan dasar saluran. Posisi pada waktu penelitian kemiringan dasar saluran selalu dalam keadaan datar.

Pertimbangan ini diambil karena pembatasan masalah, karena pada kondisi prototipe bangunan ukur debit dilapangan, dasar saluran pada kondisi datar.

Selain komponen yang disebutkan di atas, yang selalu digunakan untuk penelitian, kesalahan-kesalahan yang ditimbulkan akan mempengaruhi hasil pengukuran. Adapun komponen tersebut adalah sebagai berikut.

5. 2. 1. Pompa

Selama penelitian (1 bulan), pompa tidak mengalami kerusakan, namun pada masa pengoperasian menunjukkan ketidakstabilan pompa. Pada kondisi aliran tertentu permukaan air sering mengalami perubahan naik turun (fluktuasi). Penyebab dari fluktuasi aliran air adalah sebagai berikut :

1. fluktuasi tegangan listrik. Terlihat pada jarum penunjuk "stabilizer" yang sering berubah-ubah, dan
2. bergelombangnya aliran air dari tangki penampungan terutama pada debit besar.

Oleh karena setiap pengukuran dilakukan setelah 5 menit dari pengubahan debit aliran.

5. 2. 2. Saluran "Tilting Flume"

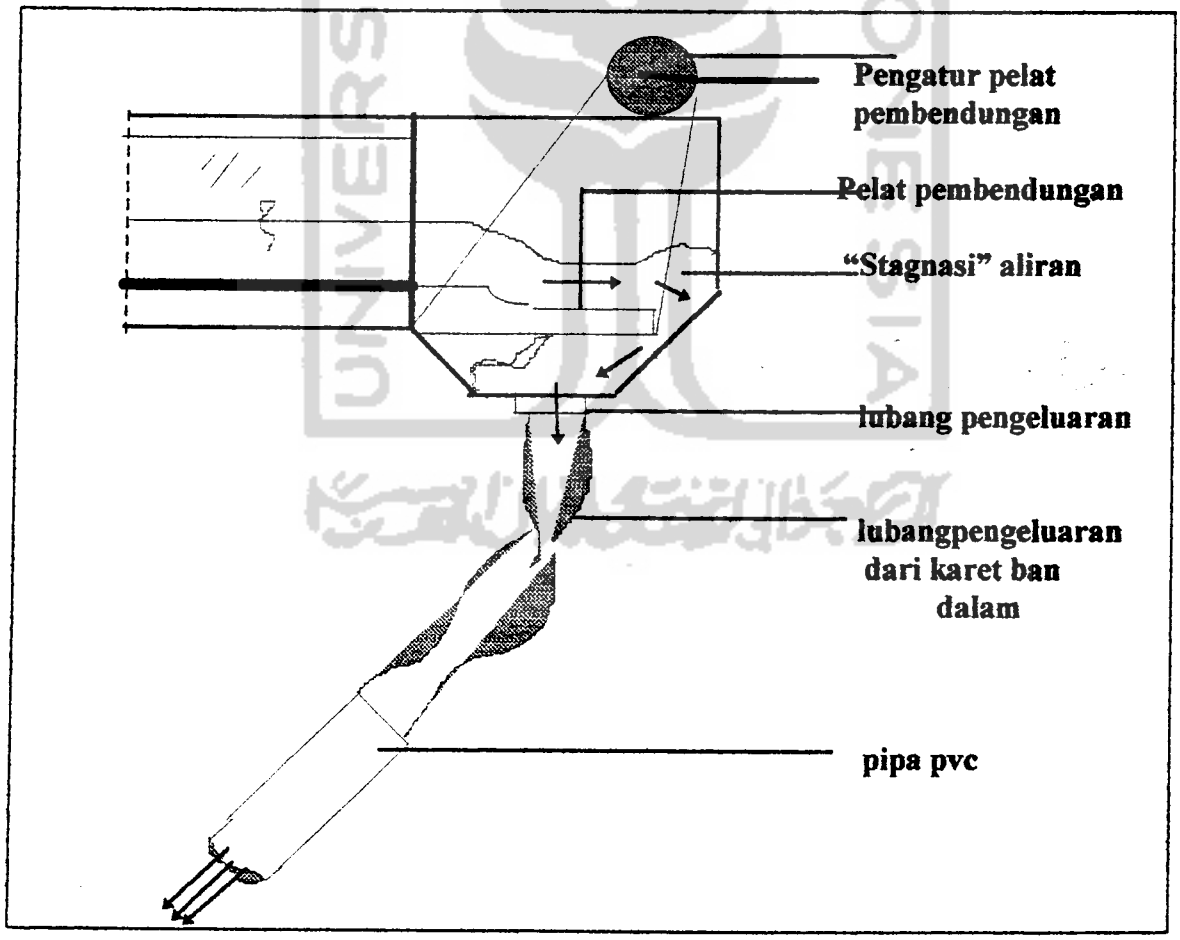
Lebar saluran pada "tilting flume" tidak tepat 10 cm, pada hilir aliran 10,31 cm dan pada hulu aliran 9,71 cm, maka bila digunakan untuk penempatan model akan membutuhkan ketebalan "plastisin" 0,3 cm. Pada dinding saluran, terdapat sambungan yang cukup kasar sehingga menyebabkan kehilangan tenaga aliran akibat gesekan pada sambungan tersebut.

5. 2. 3. Sistem "Outlet"

Komponen sistem "outlet" antara lain :

1. pelat pembendungan,
2. lubang pengeluaran, dan
3. saluran pengeluaran yang berupa pipa peralon dan ban karet.

Kehilangan tenaga dapat terjadi pada aliran setelah melewati pelat pembendungan karena permukaannya yang kasar. Kemudian terjadi "stagnasi" aliran pada saat memasuki lubang pengeluaran.



Gambar 5. 1. Sistem "outlet".

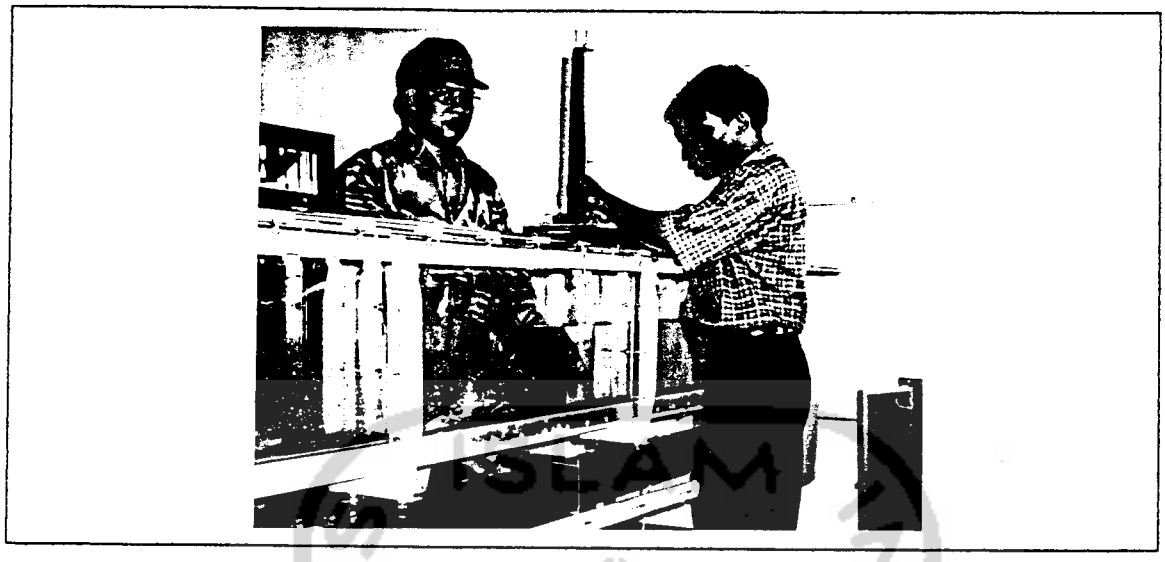
Dengan adanya kehilangan tenaga pada saluran pengeluaran dari karet ban bekas yang memiliki penampang akan selalu berubah-ubah. Pada debit kecil, penampang karet tersebut mengempis dan tidak rata, sedangkan pada debit besar akan bergelombang. Dari kondisi tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa akibat terjadinya kehilangan tenaga, maka menyebabkan perbedaan debit aliran pada saluran dan debit pada saat pengukuran sehingga mempengaruhi nilai pengukuran koefisien debit. Seperti pada gambar (5. 1.)

5. 2. 4. "Point Gauge"

Terdapat dua tahap dalam mengkalibrasi "point gauge" :

1. ujung jarum diturunkan sampai dasar saluran kemudian dibaca penunjuk angka. pada "point gauge" yang dipakai menunjukkan angka 4, jadi pada setiap pembacaan angka selalu harus ditambahkan 4 cm, dan
2. setelah air dialirkan pada kondisi stabil, ujung jarum "point gauge" diletakkan di permukaan air kemudian dibaca tinggi muka air pada "point gauge".

Selanjutnya dibaca tinggi muka air pada "piezometer", jika terdapat nilai yang sama atau memiliki perbedaan yang kecil maka kalibrasi "point gauge" selesai.



Gambar 5. 2. Kalibrasi "point gauge"

Kesalahan yang timbul pada saat penggunaan "point gauge" adalah pada saat pembacaan angka yang sering lupa menambahkan 4 cm dari hasil pembacaan pengukuran.

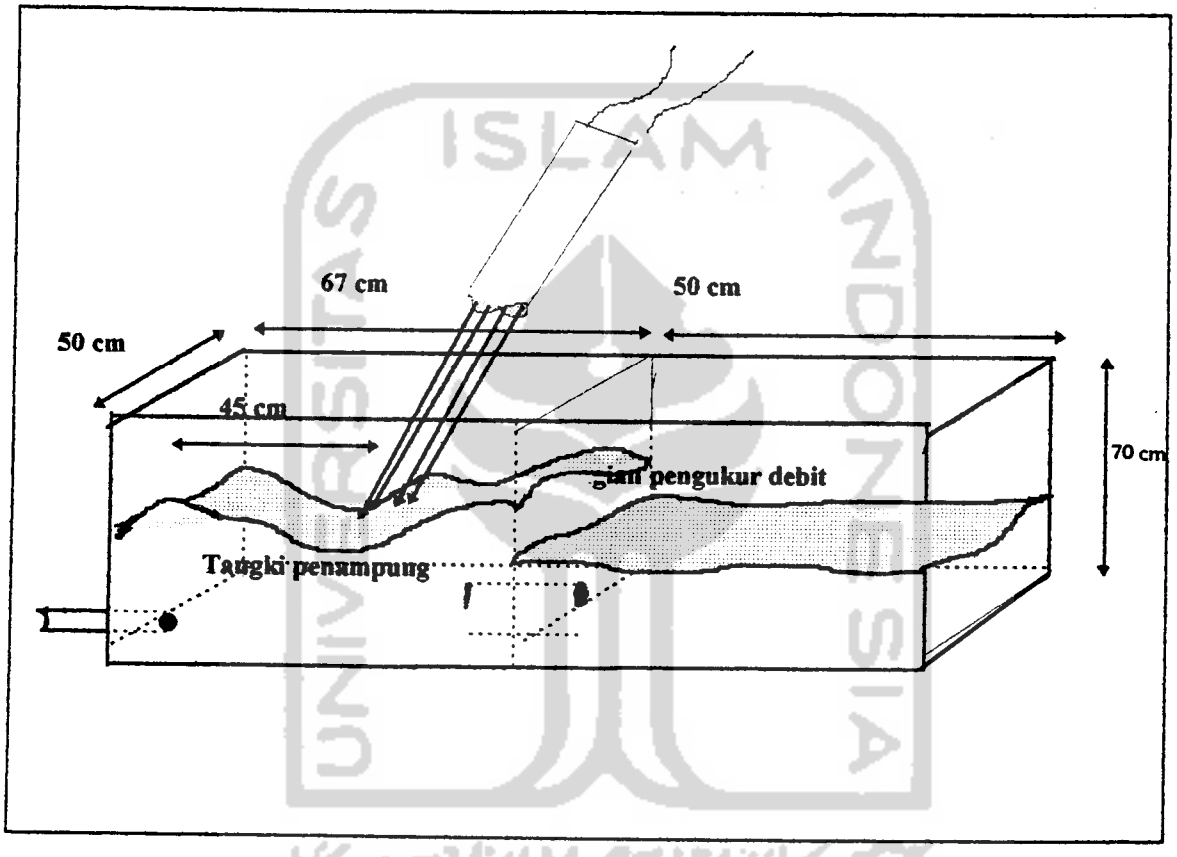
5. 2. 5. "Piezometer

Disamping digunakan sebagai alat kalibrasi "piezometer" dapat digunakan untuk indikator terjadinya fluktuasi aliran pada "tilting flume". Kesalahan penggunaan "piezometer" dapat terjadi pada saat aliran membawa kotoran kecil, sehingga menaikkan kapilaritas pada pipa "piezometer".

5. 2. 6. Tangki Penampungan

Akibat dari pembagian tangki penampungan yang sebagian sebagai penampungan dan bagian lain sebagai pengukuran debit akan menimbulkan gangguan yang berarti pada aliran yang berakibat berpengaruh pada pengukuran debit aliran.

Gangguan pada aliran disebabkan oleh pendeknya jarak limpasan air dari sistem outlet ke pipa pengambilan yang menuju ke pompa. Akibatnya olakan-olakan yang terjadi pada tangki penampungan tidak teredam sehingga mengakibatkan fluktuasi aliran pada "tilting flume". Seperti ditunjukkan pada gambar (5. 3.).



Gambar 5. 3. Jarak jatuh limpasan air menuju pompa

Gangguan berikutnya adalah pada saat pipa pengeluaran diarahkan ke bagian pengukuran debit, maka terdapat pengurangan volume tampungan. Hal ini mengakibatkan penurunan air pada "tilting flume" sebesar ±1 mm setiap kali pengukuran. Pada penelitian ini pengukuran waktu penampungan pada kondisi debit tertentu sebanyak sepuluh kali pengukuran sehingga penurunan aliran pada saluran

sebesar ± 10 mm. Contoh pada pengukuran Cd model pintu sorong tinggi permukaan air di hulu untuk sepuluh kali pengukuran adalah sebagai berikut :

Tabel 5. 1. Kesalahan pengukuran

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Error
h (cm)	19,9	19,8	19,7	19,6	19,5	19,4	19,3	19,2	19,1	19,0	0,3

Kombinasi kesalahan tersebut dengan kesalahan random saat pengukuran waktu penampungan akan menimbulkan kesalahan rambatan ("propagation error") pada hasil pengukuran Cd.



Gambar 5. 4. Pipa "outlet" diarahkan pada bagian penampungan



Gambar 5. 5. Saat pengukuran debit

5. 3. Kondisi Model Fisik Hidrolik

Terdapat perbedaan kondisi model fisik bangunan air yang menyebabkan sedikit perubahan pada metodologi penelitian yang dikeluarkan oleh Laboratorium Mekanika Fluida dan Hidrolika Fakultas Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Adapun perbedaannya adalah pada sub bab berikut.

5. 3. 1. Model Pintu Sorong

Pada model pintu sorong yang digunakan untuk penelitian, tinggi bukaan maksimum 6 cm dan tinggi bukaan awal sebesar 2 cm, hal tersebut bertujuan agar dapat mengamati fenomena aliran dengan jelas. Maka untuk sepuluh kali pengamatan digunakan kenaikan pintu sebesar 0,5 cm. Sedangkan pada buku metodologi penelitian UGM kenaikkan pintu sebesar 2 cm.

5. 3. 2. Model Bendung Ambang Tajam

Pada model bendung ambang tajam, Perbedaan yang dimiliki terletak pada :

1. tebal dinding ambang sebesar 1,2 cm. Sedangkan model di laboratorium Mekanika Fluid a dan Hidrolika milik UGM tebal dindingnya sebesar 1,2 mm.
2. tidak terdapatnya selang pengudaraan (kavitasi) yang diperlukan dalam pengamatan.

Dari kondisi tersebut, mengakibatkan sulitnya pengamatan fenomena pengudaraan dan efek kavitasi.

Model yang digunakan di laboratorium hidraulika ITB dan UGM tebal model ambang tajamnya sebesar 1-2 mm

5. 3. 3. Model Bendung "V-Notch"

Pada model bendung "V-Notch" perbedaan yang dimiliki terletak pada :

1. tebal dinding amabang sebesar 1,2 cm,
2. tidak terdapat selang pengudaraan, dan
3. sudut segitiganya bukan 90° melainkan 25,321°.

Dari perbedaan tersebut diatas maka akan mengakibatkan terjadinya perbedaan rumus yang digunakan untuk menghitung debit aliran adalah :

$$Q = Cd.\ 3,54.\ (h)^{5/4}$$

dengan : Q = debit aliran

Cd = koefisien debit

h = tinggi muka air hulu

5. 4. Kesalahan Pada Pengamatan

Pada kesalahan sistematik ini, yang ditimbulkan oleh beberapa faktor yaitu antara lain :

1. ketidak cermatan pengamat dalam membaca alat ukur, misalnya pada pembacaan volume tampungan air karena kondisi berfluktuasinya aliran air yang diakibatkan oleh ketidak stabilan pompa, sehingga kesalahan relatif rata-rata 2,684 %.
2. kesalahan random terjadi pada saat pengamat lupa dalam menghitung jumlah pengukuran yang sedang dikerjakan, pengukuran sebanyak sepuluh kali dan kesalahan pembulatan angka pada saat mencatatkan data..

5. 5. Pembahasan Penelitian pada Model Pintu Sorong

Pada penelitian model pintu sorong tinggi pintu dinaikkan setiap 0,5 cm dari ketinggian awal sebesar 2 cm. Ketelitian pengukuran Cd tergantung kepada hasil pengukuran debitnya. Alat pengukur debit yang tersedia di laboratorium adalah volume tampungan dengan memanfaatkan tangki penampungan.

5. 5. 1. Pengukuran Cd Pada Kondisi Modular

Pengukuran koefisien debit dilakukan dengan mengukur debit yang masuk ke dalam tangki penampungan. Pertama diukur volume tampungan untuk menampung air

kemudian pengukuran debit dapat dilakukan dengan mengukur waktu yang diperlukan untuk mengisi wadah yang telah diketahui volumenya.

$$Q = \frac{V}{T} \qquad (5.1.)$$

dengan Q = debit (m3/ s)

V = kecepatan aliran (m/ s)

T = waktu pengaliran (s)

Kemudian dari rumus (2. 2.). maka diperoleh harga koefisien debitnya

$$Cd = \frac{V}{hg.\ B.\ T.\ \sqrt{2.g.\ h1}} \qquad (5.2.)$$

dengan :

V = volume tampungan.

T = waktu penampungan.

B = lebar tilting flume.

hg = tinggi bukaan.

g = percepatan gravitasi

= 9,81 m/detik ².

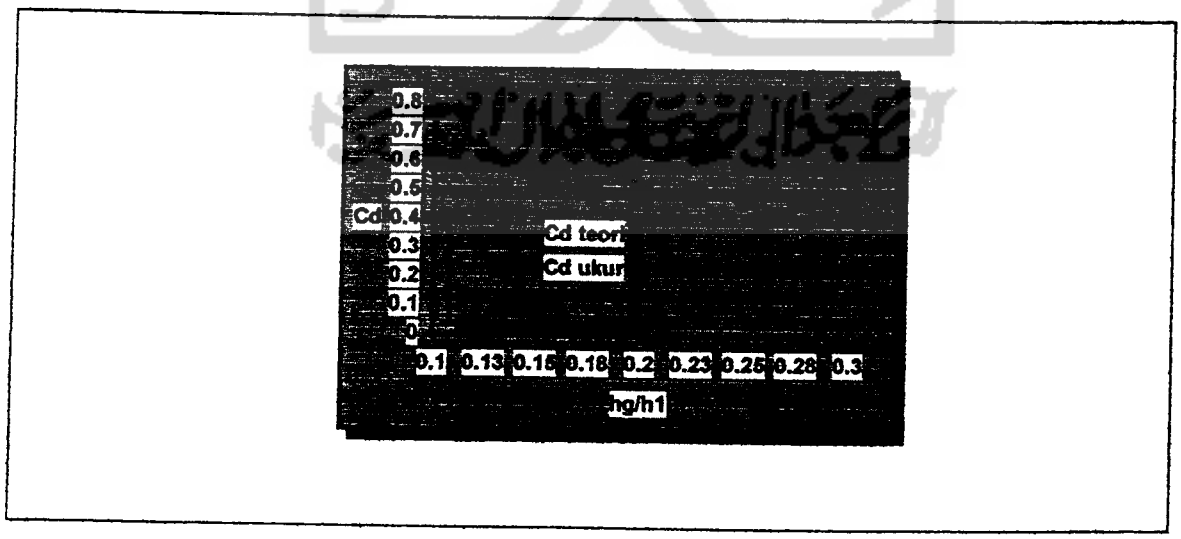
5. 5. 2. Analisa Grafik dan Pengamatan

5. 5. 2. a. Tinggi Permukaan Air Hulu Konstan

Dari gambar (5. 6). terlihat bahwa koefisien debit bertambah kecil jika tinggi pintu bertambah besar, hubungan tersebut menunjukkan bahwa koefisien berbanding terbalik dengan tinggi bukaan pintu. Pada perbandingan antara harga teoritis dan pengukuran, jika harga koefisien debit teoritis merupakan harga pendekatan dari nilai debit yang terjadi maka dari sembilan kali pengukuran menunjukkan kehilangan tenaga

pada aliran yang mengakibatkan harga debit aliran pada saluran "tilting flume" dengan debit pada saat pengukuran berbeda. Kehilangan tenaga diperkirakan terjadi pada

saat melewati karet ban pada sitem "outlet" yang berkembang kempis dan terjadinya loncat air menghasilkan kehilangan tenaga.



Gambar 5. 6 Grafik perbandingan antara harga teori dan pengukuran

Model matematika hubungan antara koefisien debit pengukuran dengan perbandingan tinggi bukaan diperoleh formulasi sebagai berikut

$$Cd = k \left| \frac{hg}{h_1} \right|^{c} \qquad (5.3.)$$

$$\log Cd = \log k + c \log \left(\frac{hg}{h_1} \right)$$

dengan regresi linier diperoleh $y = \log Cd$; $a = \log k$; $b = c$: dan $x = \log \left(\frac{hg}{h_1} \right)$

$$y = a + b.\, x \qquad (5.4.)$$

Tabel 5. 2. Regresi model matematika

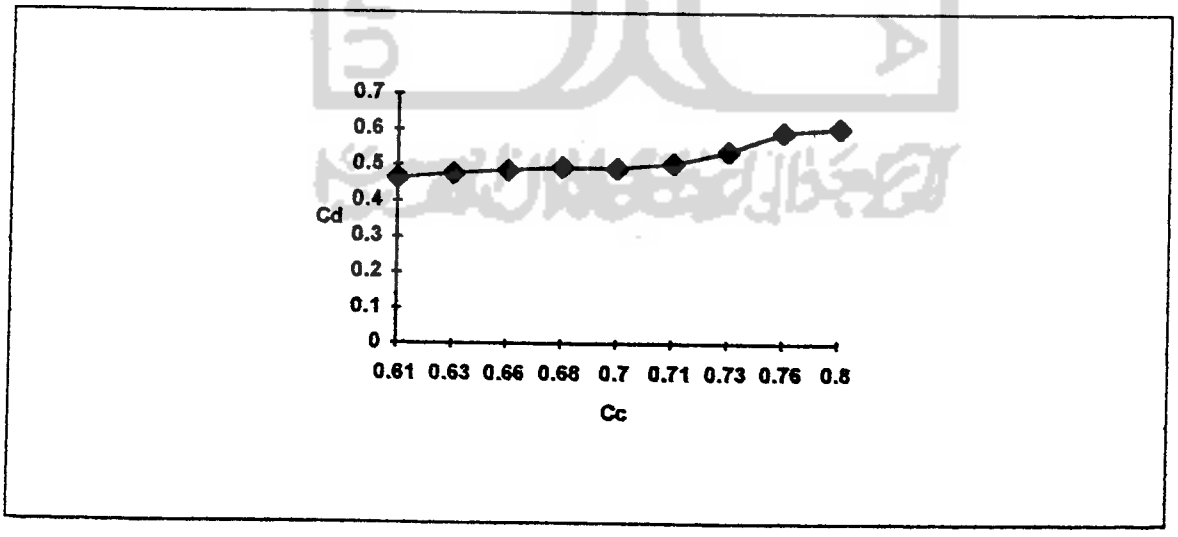
y	y^2	x	x^2	xy
-0.1141	0.013	-1	1	0.1141
-0.1389	0.0193	-0.903	0.8156	0.1254
-0.1593	0.02537	-0.824	0.6789	0.1313
-0.1744	0.0304	-0.7569	0.5729	0.1320
-0.1834	0.0336	-0.6989	0.4885	0.1281
-0.1988	0.0395	-0.6478	0.4196	0.1287
-0.2136	0.0456	-0.6021	0.3625	0.1286
-0.2357	0.0555	-0.5607	0.3144	0.1322
-0.2473	0.0612	-0.5229	0.2734	0.1293
$\sum y = -1.6655$	$\sum y^2 = 0.3987$	$\sum x = -6.5163$	$\sum x^2 = 4.9261$	$\sum xy = 1.1697$

$$a = \frac{(\Sigma x^2).(\Sigma y) __ (\Sigma x).(\Sigma xy)}{n(\Sigma x^2) __ (\Sigma x)^2} \qquad (5.5.)$$

$$b = \frac{n(\Sigma xy) __ (\Sigma y)(\Sigma x)}{n(\Sigma x^2) __ (\Sigma x)^2} \qquad (5.6.)$$

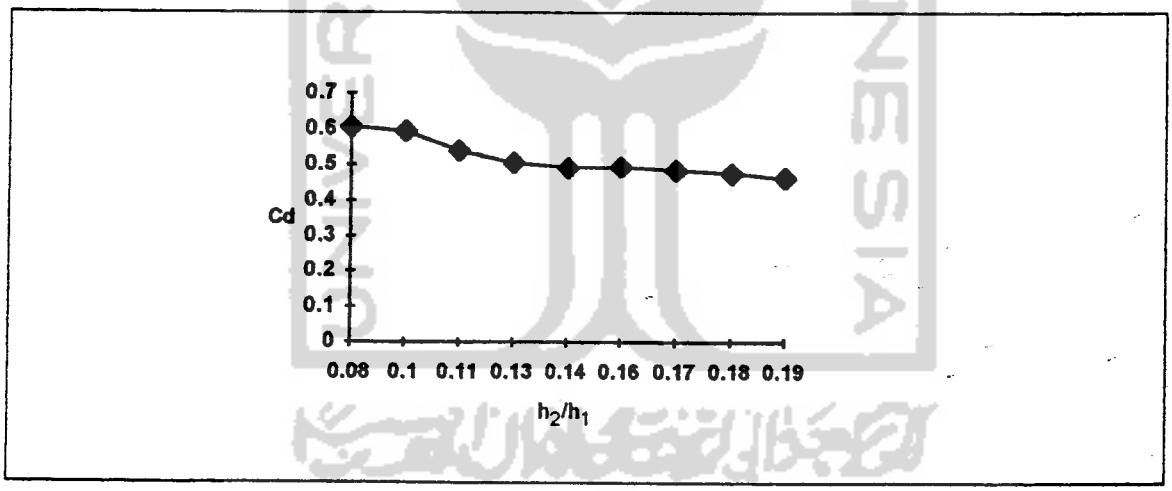
dengan n jumlah data, maka diperoleh model matematika hubungan koefisien debit aliran pintu sorong dengan tinggi bukaan pintu dengan h_1 tetap.

$$Cd = 0.416 \left| \frac{hg}{h_1} \right|^{0,2706} \qquad (5.7.)$$



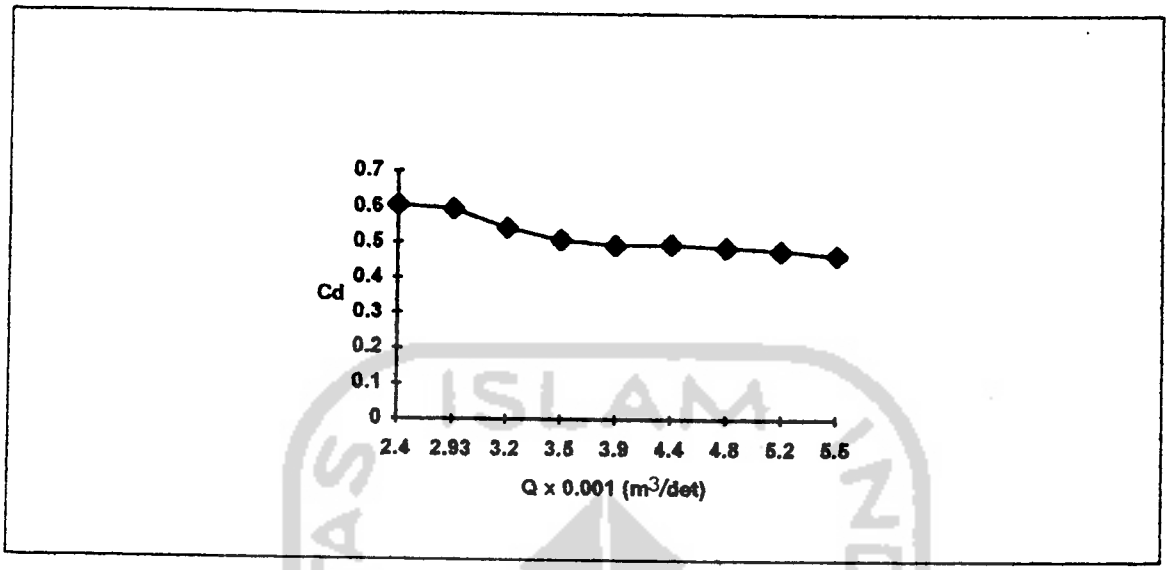
Gambar 5. 7. Grafik koefisien debit pengukuran dengan koefisien kontraksi

Dari gambar (5. 7) menunjukkan bahwa bertambah besarnya harga koefisien kontraksi mempengaruhi harga koefisien debit dengan bertambah besar. Dengan kata lain hubungan antara koefisien debit berbanding lurus terhadap koefisien kontraksi dan berbanding terbalik terhadap tinggi bukaan pintu dan tinggi muka air hilir. Seperti pada gambar (5. 8.).



Gambar 5. 8. Grafik hubungan koefisien debit dengan tinggi muka air hilir

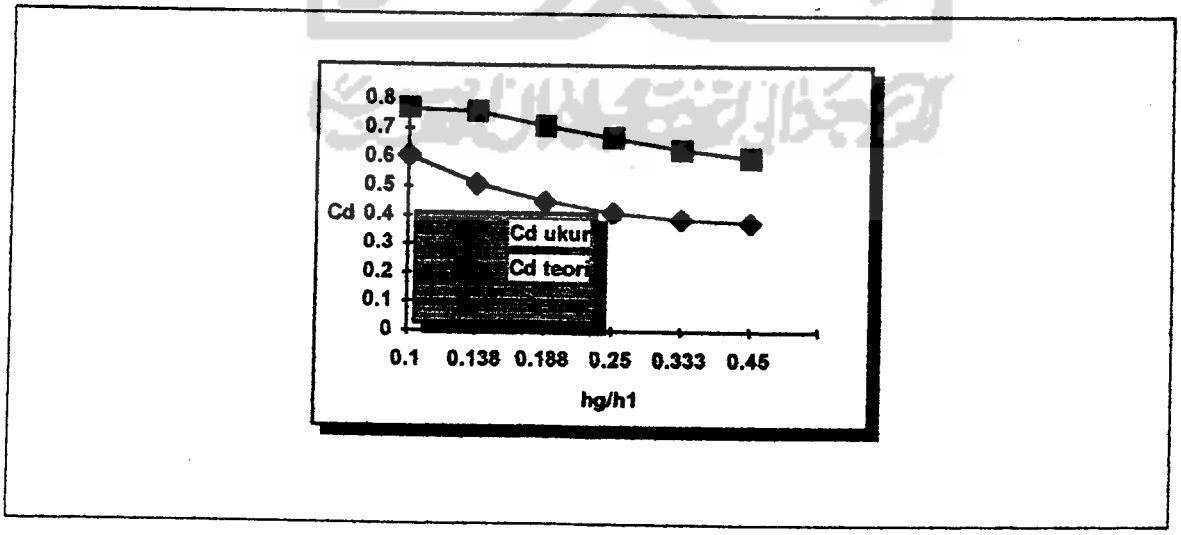
Hubungan antara koefisien debit terbalik terhadap debit aliran, artinya semakin besar debit aliran yang melewati model pintu sorong maka semakin kecil harga koefisien debit yang mengakibatkan kontraksi di pintu akan semakin kecil.



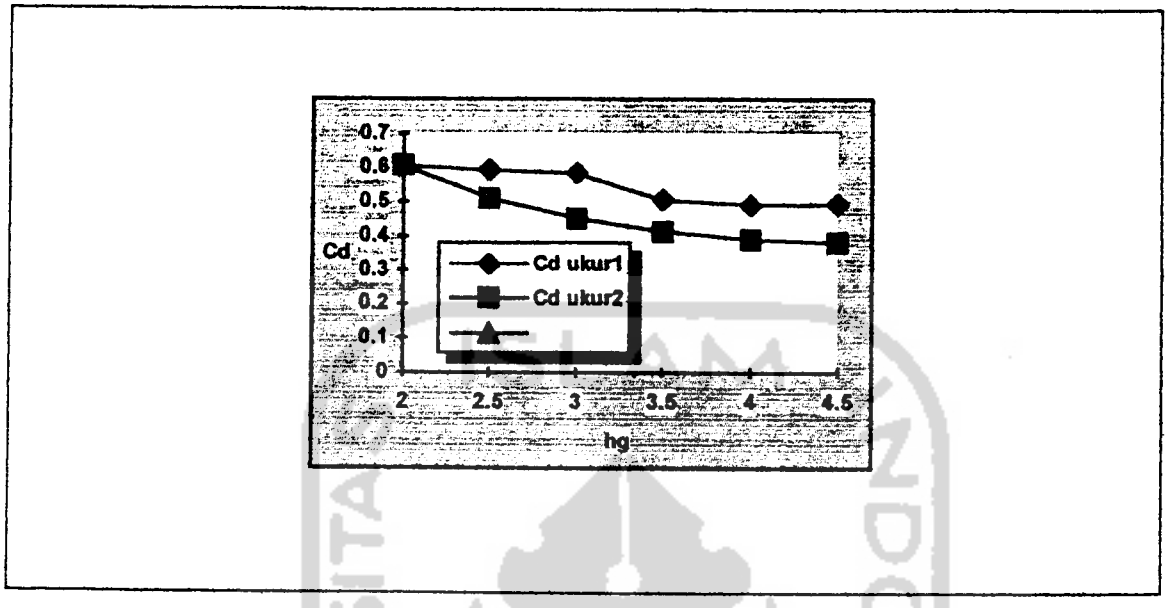
Gambar 5. 9. Grafik hubungan antara koefisien debit dengan debit aliran

5. 5. 2. b. Debit tetap

Dari gambar (5.10.) perilaku nilai koefisien debitnya sama dengan perilaku pada kondisi debit berubah.



Gambar 5.10 Grafik perbandingan dengan debit tetap



Gambar 5. 11. Perbandingan nilai Cd dengan debit tetap dan debit berubah

Dengan kombinasi debit tetap (Cd ukur 2) menunjukkan kecenderungan nilai koefisien yang lebih kecil dibandingkan dengan koefisien debit dengan debit berubah (Cd ukur 1). Hal ini menunjukkan bahwa koefisien kontraksi pada Cd ukur 2 lebih kecil daripada koefisien kontraksi Cd ukur 2.

Model matematika koefisien debit dengan debit tetap dengan cara seperti di atas (menggunakan regresi linier) maka diperoleh model sebagai berikut.

$$Cd = 0{,}03818 \left| \frac{hg}{h_1} \right|^{-1{,}27}$$



Gambar 5. 12. Model pintu sorong pada kondisi modular

5. 5. 3. Kondisi Batas Modular

Batas modular terjadi jika aliran di hilir berubah dari aliran super kritis ke aliran kritis (sebelum loncat air). Kemudian aliran kritis di hilir berubah dari kritis ke sub kritis maka kondisi aliran berupa aliran tenggelam. Nilai batas modular tidak dapat ditentukan secara tepat menggunakan volume tampungan.

5. 6. Pembahasan Penelitian Model Ambang Lebar

Ambang lebar adalah bangunan yang mempunyai panjang minimal mampu menghasilkan aliran kritis di atas ambang sehingga terjadi tekanan hidraustatik.

5. 6. 1. Pengukuran Koefisien Debit Pada Kondisi Modular

Penurunan rumus koefisien debit pada ambang lebar dilakukan dengan cara yang sama, seperti pada model pintu sorong. Dari rumus (5. 1.) dan (3. 6.) maka di peroleh :

$$Cd = \frac{V}{1{,}705.B.T.(H)^{1{,}5}} \qquad (5.7.)$$

Untuk mengukur besarnya tinggi tenaga aliran maka dipakai rumus

$$H = \frac{Q^2}{2.B^2.(h_1)^2.g} + h_1 \qquad (5.8.)$$

dengan :

h_1 = tinggi muka air di hulu.

H = tinggi tenaga aliran.

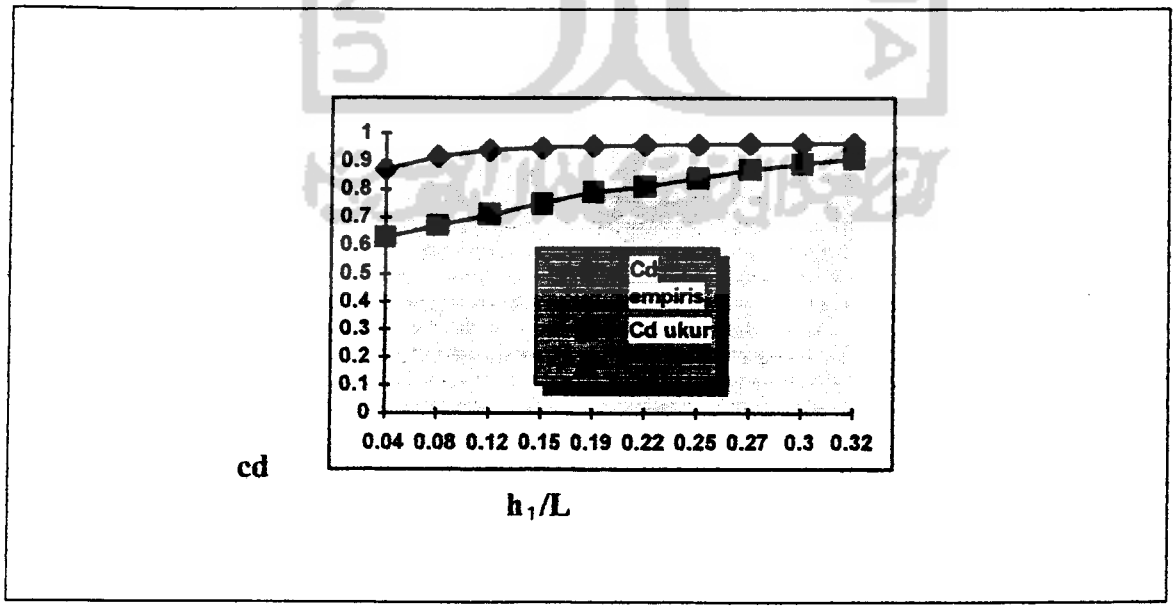
T = waktu penampungan.

Karena selisih antara H dan h sangat kecil maka diasumsikan $H \approx h_1$

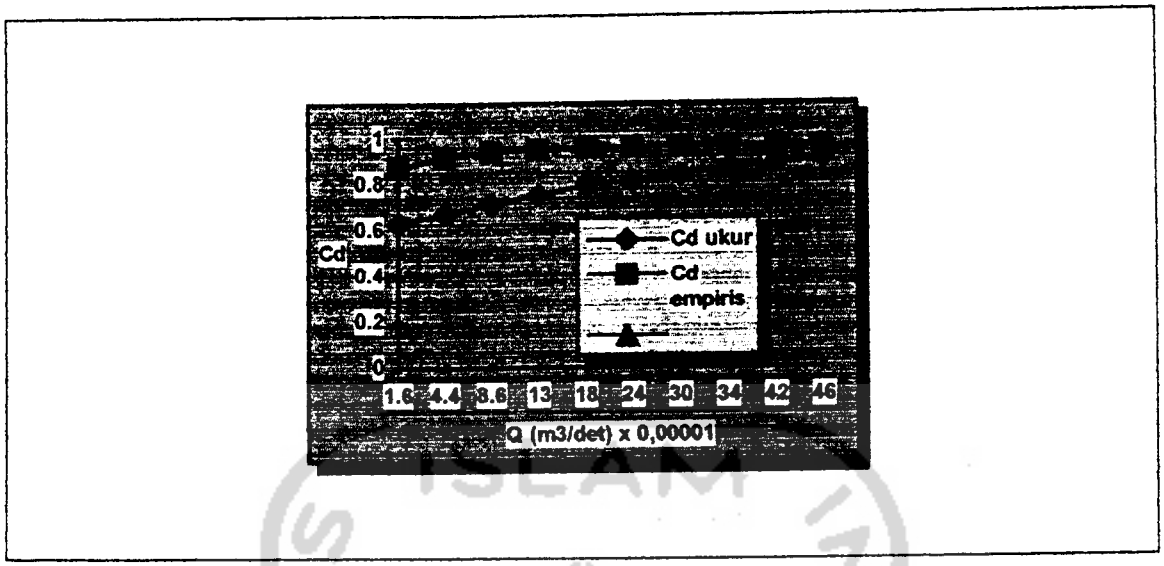
5. 6. 2. Analisa Grafik dan Pengamatan

Dari gambar (5.13.) nampak bahwa hasil pengukuran Cd dengan volume tampungan (Cd ukur), nilainya dibawah hasil penelitian Kindsvater dan Carter yang disebabkan oleh banyaknya kehilangan tenaga pada sistem "outlet".

Pada pengamatan fenomena aliran di ujung ambang menunjukkan aliran berubah tiba-tiba yang memiliki kelengkungan garis aliran yang jelas. Perubahan kelengkungan terjadi secara mendadak sehingga aliran seolah-olah terputus, menimbulkan keadaan turbulensi aliran di hilir ambang. mengakibatkan kehilangan tenaga pada aliran. Jika kedalaman aliran $h_p > h_4$ maka loncatan hidrauliknya akan teredam, sehingga puncak air pelimpah akan terbenam.



Gambar 5.13. Grafik perbandingan antara nilai pengukuran dan nilai empiris



Gambar 5. 14. Grafik perbandingan dengan debit aliran

Pada gambar (5. 14.) menunjukkan penambahan nilai koefisien debit sebanding dengan penambahan debit aliran. Pada debit yang cukup besar nilai koefisien debit mendekati harga koefisien debit empiris, hal ini menunjukkan pada debit yang besar karet ban pada sistem "outlet" memiliki diameter yang cukup stabil.



Gambar 5. 15. Percobaan ambang lebar.

Model matematika hasil pengukuran koefisien debit (Cd ukur) terhadap perbandingan h/L adalah sebagai berikut seperti pada gambar (5.13.).

$$Cd = k. \left| \frac{h_1}{L} \right|^{c} \qquad (5.9.)$$

$$\log Cd = \log k + c \log \left(\frac{h_1}{L} \right)$$

dengan regresi linier diperoleh $y = \log Cd$; $a = \log k$; $b = c$: dan $x = \log \left(\frac{h}{L} \right)$.

maka tabel regresinya

Tabel 5. 3. Regresi Model Matematika

y	y^2	x	x^2	xy
-0,2017	0,0407	-1,3665	1,8673	0,2756
-0,1739	0,0302	-1,1135	1,2399	0,1936
-0,1487	0,0221	-0,9208	0,8479	0,1369
-0,1249	0,0156	-0,8153	0,6647	0,1018
-0,1023	0,01047	-0,7289	0,5313	0,0746
-0,0915	0,0087	-0,6575	0,4323	0,0602
-0,0757	0,0057	-0,596	0,3552	0,0451
-0,0605	0,000366	-0,574	0,3295	0,0347
-0,0506	0,0026	-0,5228	0,2733	0,0265
-0,041	0,00168	-0,4994	0,249	0,0205
$\Sigma y = -1,078$	$\Sigma y^2 = 0,1415$	$\Sigma x = -7,7947$	$\Sigma x^2 = 6,7904$	$\Sigma xy = 0,9695$

dari persamaan (5. 5.) dan (5. 6.) diperoleh model

$$Cd = 1,0965 \left| \frac{h_1}{L} \right|^{0,18867}$$

dengan L = panjang ambang

h_1 = tinggi muka air di hulu

Cd = koefisien debit

5. 6. 3. Kondisi Batas Modular

Pada kondisi batas modular aliran di atas ambang mulai berubah dari keadaan super kritis ke kritis. Secara visual dapat diamati secara teliti pada saat aliran di atas ambang mulai terpengaruh oleh aliran.

5. 7. Pembahasan Penelitian Model Bendung Ambang Tajam.

Model bendung ambang tajam yang digunakan memiliki panjang ambang sebesar 1,2 cm, sedangkan standar penelitian digunakan panjang ambang < 2 mm. Limpasan aliran di atas ambang merupakan fenomena jatuh bebas. Perubahan kelengkungan sedemikian mendadak sehingga terjadi aliran turbulensi di hilir ambang.

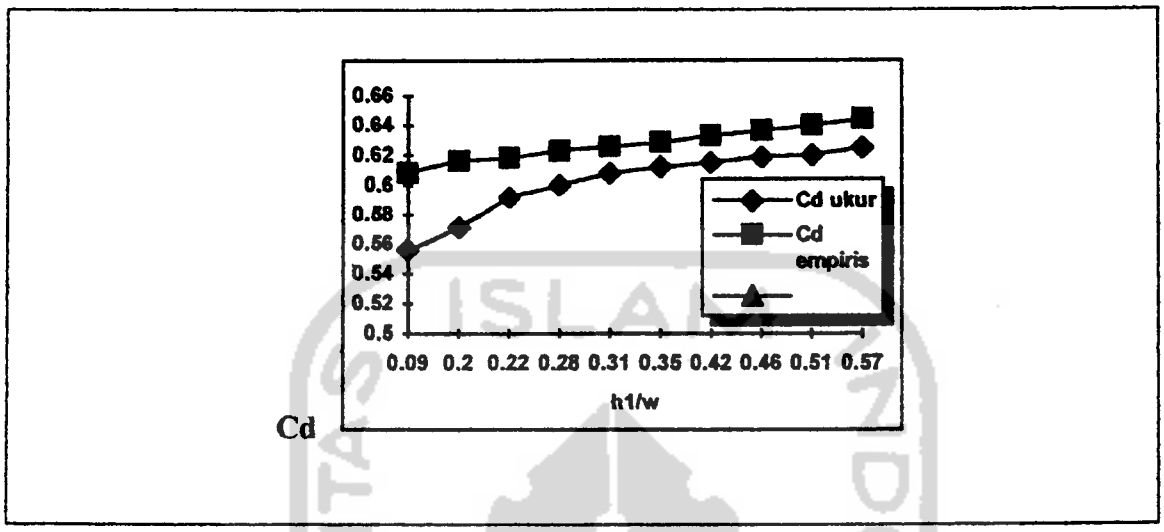
5. 7. 1. Pengukuran Koefisien Debit Pada Kondisi Modular.

Rumus Koefisien debit aliran pada ambang tajam dengan metode volume tampungan dapat diturunkan sebagai berikut:

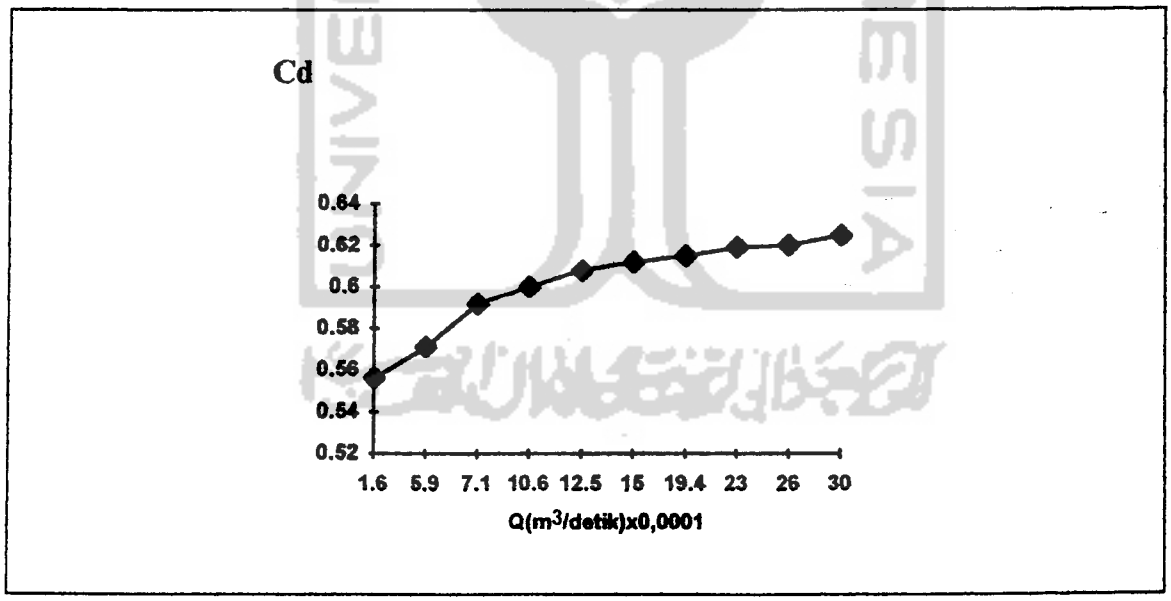
dari persamaan (5. 1.) dan (3. 9.) maka diperoleh,

$$Cd = \frac{V}{2{,}953.B.\ T.\ (h_1)^{1{,}5}} \qquad (5.\ 10.)$$

5. 7. 2. Analisis Grafik dan Pengamatan



Gambar 5.16. Grafik perbandingan koefisien debit



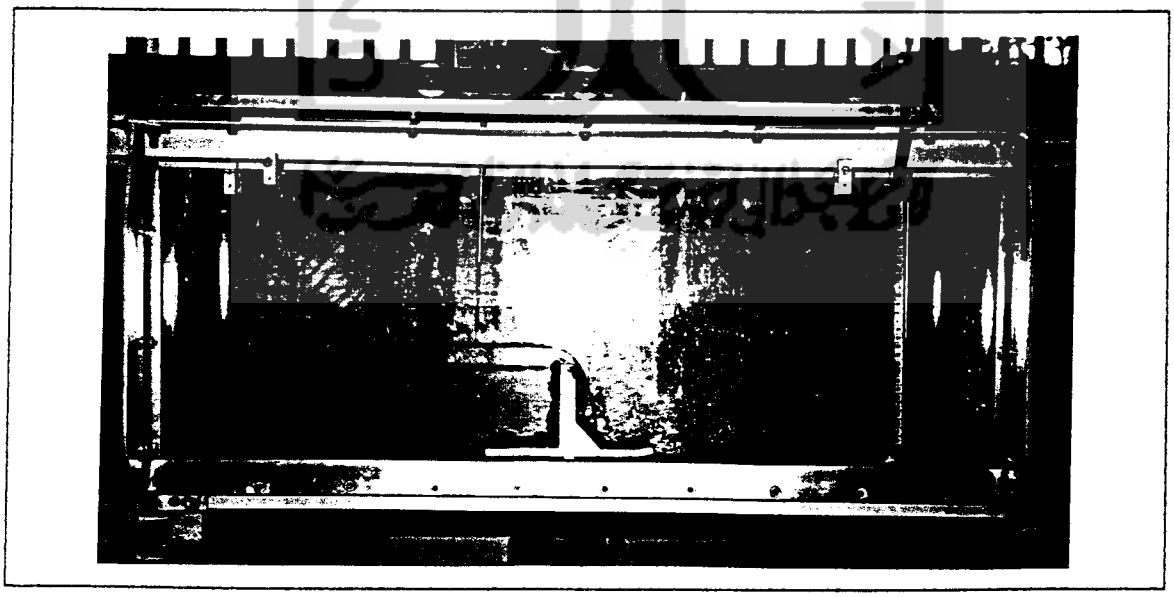
Gambar 5. 17. Grafik nilai pengukuran

Dari hasil grafik pada gambar (5.16.) dan (5.17.) menunjukkan selisih yang cukup berarti antara nilai pengukuran dengan nilai pendekatan formula empiris Kindsvater. Selisih nilai pengukuran dengan formula Kindsvater sangat besar pada

pengukuran pertama dibandingkan dengan nilai pengukuran ke sepuluh. Hal ini menunjukkan bahwa pada debit kecil maka koefisien debit kecil, karet ban pada sistem "outlet" akan mengempis sehingga kehilangan energi aliran lebih besar dibandingkan dengan debit besar diamana diameter ban cukup stabil. Disamping faktor karet ban kehilangan energi aliran terjadi oleh efek kavitasi di bawah tirai luapan.

Untuk mengurangi efek kavitasi menurut Howe (Discharge Measurement Structures, M.G. Bos, editor 1988.) diperlukan pengudaraan pada ventilasi udara di bawah tirai luapan, atau pada model diperlukan pipa pengudaran.

Penambahan debit aliran akan mengakibatkan penambahan nilai koefisien debit aliran secara linier. Pada nilai pengamatan yang terjadi menunjukkan fluktuatif terjadinya olakan-olakan pada saat pengukuran di volume tampungan.



Gambar 5. 18.Penelitian model ambang tajam pada kondisi modular

5. 7. 3. Kondisi Batas Modular

Kondisi batas modular terjadi pada tinggi air di hilir $h_3 = 2/3.h_1$ dengan nilai h_3 adalah 7 cm. Pada kondisi tersebut dapat dicermati secara visual dengan terpengaruhinya aliran di atas ambang oleh aliran di hilir ambang.



Gambar 5. 19. Perkiraan kondisi batas modular.

Berdasarkan penelitian Kindsvater dan Carter model matematika koefisien debitnya adalah sebagai berikut :

$$Cd = \alpha + \beta.\left(\frac{h_1}{w}\right)$$

dengan $\alpha = 0{,}602$: $\beta = 0{,}075$, untuk saluran persegi.

Berdasarkan penelitian dengan model bendung ambang tajam dengan w (tinggi ambang) 11,6 cm. Jadi menurut Kindsvater dan Carter bila saat air mulai melimpas, maka koefisien debit mula-mulanya Cdo = 0,602.

Pada penelitian laboratorium hidrolika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia sulit untuk mengukur koefisien debit awal karena menggunakan alat ukur debit volume tampungan, maka digunakan regresi linier.

Tabel 5. 4. Regresi Model Matematika

Y	y^2	x	x^2	xy
0,556	0,3091	0,087	0,0076	0,0484
0,511	0,326	0,198	0,0392	0.1131
0,592	0,3505	0,2189	0,0479	0.1296
0,6	0,36	0,2845	0,0809	0.1707
0,608	0,3697	0,3147	0,099	0.1913
0,612	0,3745	0,3534	0,1249	0,2163
0,615	0,3782	0,4181	0,1748	0,2571
0,619	0,3832	0,4612	0,2127	0,2855
0,62	0,3844	0,5086	0,2587	0,3153
0,625	0,3906	0,5646	0,3187	0,3529
$\Sigma x = 6,018$	$\Sigma y^2 = 3,6262$	$\Sigma x^2 = 3,4009$	$\Sigma x^2 = 1,2644$	$\Sigma xy = 2,0892$

dengan y = Cd dan dari persamaan (5. 5.) dan (5. 6.) diperoleh harga

$\alpha = 0,553$; $\beta = 0,1417$

sehingga model matematikanya

$$Cd = 0,553 + 0,1417 \left(\frac{h_1}{w} \right)$$

Dari model di atas dapat disimpulkan bahwa :

1. koefisien debit berbanding lurus dengan tinggi muka air dan berbanding terbalik dengan tinggi ambang, dan
2. koefisien debit awal sebesar Cdo = 0,553.

5. 8. Pembahasan Penelitian Bendung Ambang "V-Notch".

Pada model bendung ambang "V-Notch" yang digunakan memiliki sudut 25,321°, jadi rumus pengukuran debit yang melewatinya adalah:

$$Q = Cd. \frac{8}{15} tg\left(\frac{\theta}{2}\right). (\sqrt{2.g}) (h)^{5/2} \quad \text{maka}$$

$$\mathbf{Q = Cd.3,54. (h)^{5/2}} \qquad \mathbf{(5.11.)}$$

5. 8. 1. Pengukuran Koefisien Debit Pada Kondisi Modular

Dari persamaan (5. 7.) dan (5. 1.) dapat diturunkan persamaan koefisien debit dengan volume tampungan sebagai berikut :

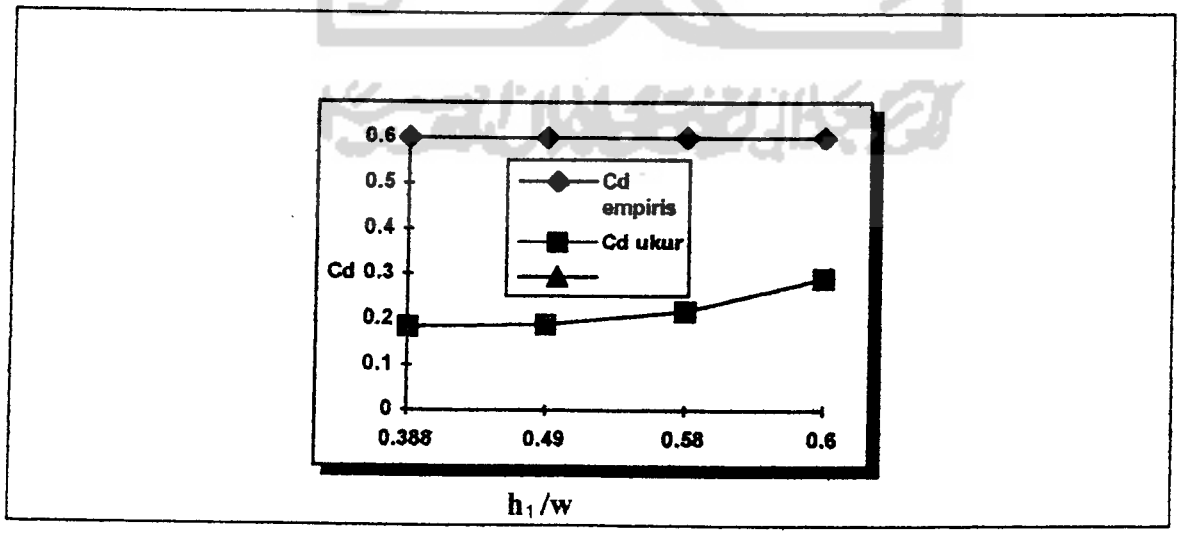
$$Cd .3,54 (h)^{5/2} = \frac{V}{T}$$

$$Cd = \frac{V}{3{,}54.\ T.(h)^{5/2}} \qquad (5.\ 12.)$$

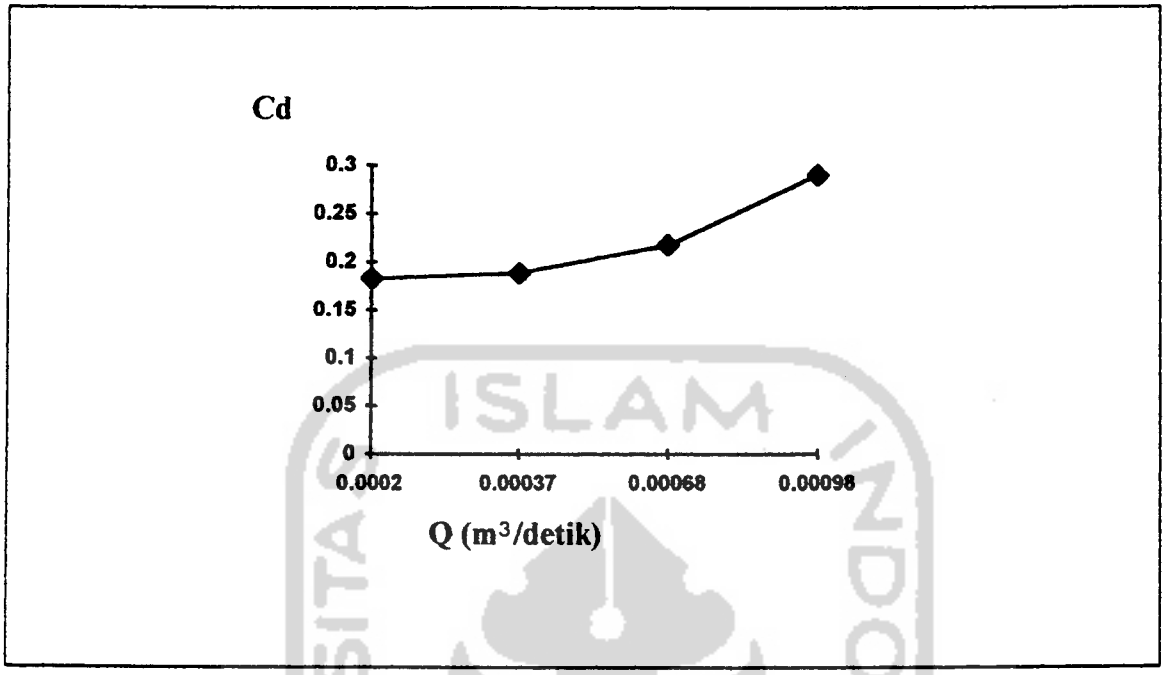
5. 8. 2. Analisa Grafik dan Pengamatan Fenomena Aliran

Dari gambar (5. 20.) dan (5. 21.) menunjukkan bahwa debit yang keluar dari "outlet" kecil sehingga saluran dari ban karet akan mengempis sehingga mengurangi energi aliran. Di hilir ambang terjadi olakan yang disebabkan oleh gelembung udara sehingga menimbulkan "kavitasi" yang menyebabkan kehilangan tenaga yang cukup besar. Seperti pada gambar (5. 22.) dan (5. 23.).

Pertambahan nilai koefisien debit berbanding lurus dengan debit aliran. Hal ini sejalan dengan pendekatan teoritis terhadap bendung ambang "V-Notch". Kecepatan di hulu ambang akan lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan di hilir ambang.



Gambar 5. 20. Grafik perbandingan



Gambar 5. 21. Grafik Pengukuran

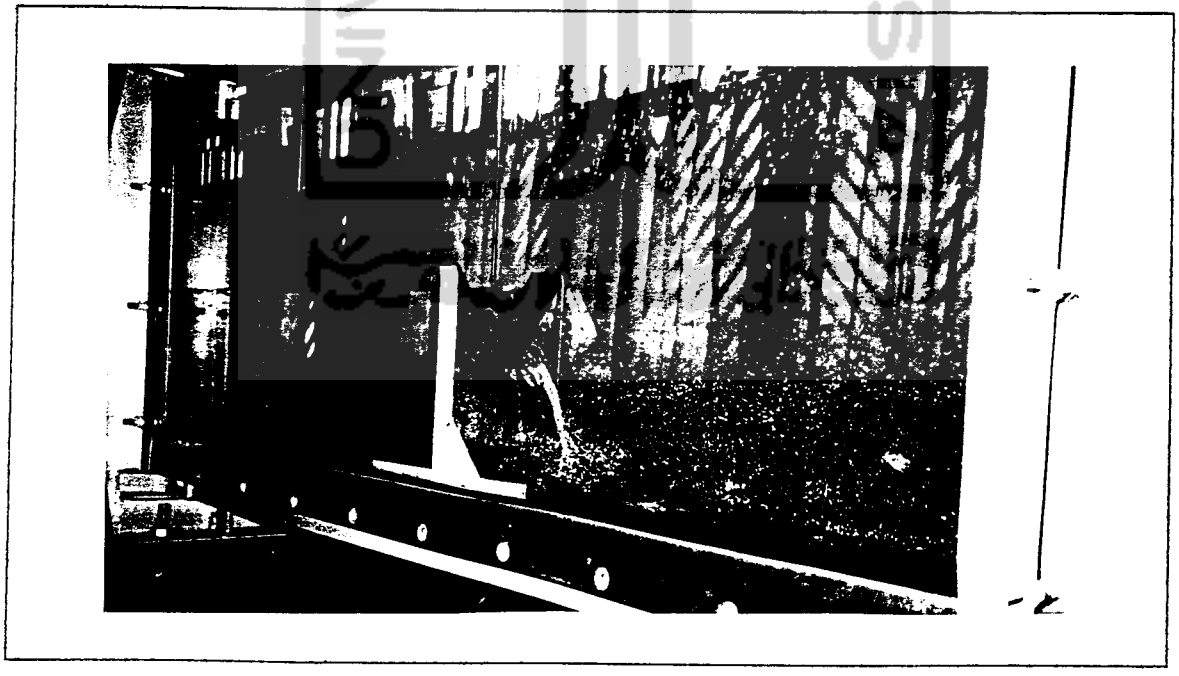
5. 8. 3. Kondisi Batas Modular

Kondisi batas modular dapat dilihat secara visual, mulai berpengaruhnya kondisi aliran di hilir terhadap aliran di atas ambang.

Dari hasil eksperimen para ahli hidrolik menunjukkan bahwa batas modular untuk ambang tajam sebesar tinggi muka air di hilir sebanding dengan nilai dua pertiga dari kedalaman permukaan air di hulu ($h_3 = 2/3\ h_1$). Pada pengukuran, batas modular terjadi pada $h_3 = 5{,}3$ cm atau $h_1 = 7{,}95$ cm



Gambar 5. 22. Aliran pada model "V-Notch" kondisi modular



Gambar 5. 23. Aliran "v-notch" terlihat dari depan tampak olakan pada hilir yang cukup besar



5. 24. Kondisi batas modular



Gambar 5. 25. Kondisi aliran menyelam

5. 9. Kesalahan Relatif

Perhitungan kesalahan relatif adalah suatu cara untuk mengetahui derajat kecermatan kita di dalam pengukuran yang disebabkan ke tiga jenis kesalahan seperti kesalahan sistematik, kesalahan stokastik, kesalahan tindakan.

5. 9. 1. Kesalahan Relatif Model Pintu Sorong

Rumus koefisien debitnya adalah

$$Cd = \frac{s.t.u}{B.\ hg.T.\ \sqrt{2.gh_1}}$$

dengan:

s, t = sisi-sisi volume tampungan (bagian ukur debit)

u = tinggi volume pengukuran

B, hg, s, t, g , dianggap tidak terdapat kesalahan dalam pengukuran atau mempunyai kesalahan kecil, maka untuk menghitung kesalahan relatif adalah sebagai berikut :

$$Cd = \frac{u}{T.\sqrt{2.h_1}}$$

$$\frac{\partial Cd}{\partial u} = \frac{1}{T\sqrt{2.h_1}}$$

$$\frac{\partial Cd}{\partial T} = \frac{u}{T^2\sqrt{2.h_1}}$$

$$\frac{\partial Cd}{\partial h_1} = \frac{u}{T \,.\, (2.h_1)^{3/2}}$$

maka kesalahan relatifnya diperoleh

$$(r_k)cd = \sqrt{r_u^2 + r_T^2 + 1/4\ r_{h_1}^2}$$

diketahui :

kesalahan relatif (r_{h_1}) = 1,5424 %

kesalahan relatif (r_u) = 2,684 %

Kesalahan relatif (r_T) = 13,92 %

Kesalahan relatif waktu penampungan (r_T) dipilihkan yang terbesar. Seperti pada lampiran 1 pada tabel pengukuran waktu penampungan, sehingga kesalahan relatif koefisien debit pintu sorong adalah :

(r_k) cd = 14,197 %

sehingga nilai kecermatannya adalah 100 % - 14,197 % = 85,8027 %

5. 9. 2. Model Bendung Ambang Tajam

Dengan cara yang sama seperti di atas, maka diperoleh harga kesalahan relatif koefisien debit ambang lebar:

$$(r_k)\,cd = \sqrt{r_u^2 + r_T^2 + 9/4\ r_{h1}^2}$$

diketahui :

kesalahan relatif (r_{h1}) = 1,5424 %

kesalahan relatif (r_u) = 2,684 %

Kesalahan relatif (r_T) = 4,28 %

$(r_k)\,cd$ = 5,507 %

Ketelitian pengukurannya 100 % - 5,507 % = 94,49 %

5. 9. 3. Model Bendung Ambang "V-Notch"

Dengan cara yang sama seperti di atas, maka diperoleh harga kesalahan relatif koefisien debit ambang lebar:

$$(r_k)cd = \sqrt{r_u^2 + r_T^2 + 25/4\ r_{h1}^2}$$

diketahui :

kesalahan relatif (r_{h_1}) = 1,5424 %

kesalahan relatif (r_u) = 2,684 %

Kesalahan relatif (r_T) = 9,025 %

(r_k) cd = 10,17 %

Ketelitian pengukurannya 100 % - 10,17 % = 89,83 %

5. 9. 4. Model Bendung Ambang Lebar

Dengan cara yang sama seperti di atas, maka diperoleh harga kesalahan relatif koefisien debit ambang lebar:

$$(r_k)cd = \sqrt{r_u^2 + r_T^2 + r_{h_1}^2}$$

diketahui :

kesalahan relatif (r_{h_1}) = 1,5424 %

kesalahan relatif (r_u) = 2,684 %

Kesalahan relatif (r_T) = 14,23 %

(r_k) cd = 14,545 %

Ketelitian pengukurannya 100 % - 14,545 % = 85,455 %

5. 10. Alat Ukur Debit Aliran Standar

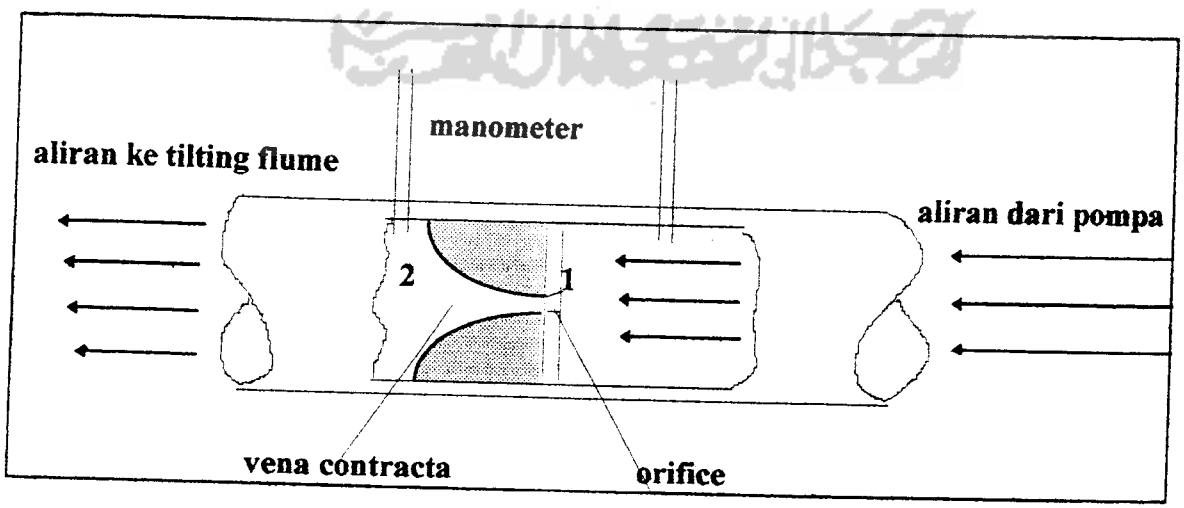
Ketelitian pengukuran koefisien debit tergantung kepada hasil ketelitian pengukuran debit. Disamping beberapa hal yang diperlukan ketelitian, seperti pada pintu sorong tinggi bukaan, tinggi muka air hulu dan lebar tilting flume. Namun secara manual bisa diusahakan ketelitian yang cukup memadai. sedangkan untuk keperluan pengukuran debit diperlukan alat yang memiliki presisi tinggi.

Ada dua macam pengukuran debit yakni :

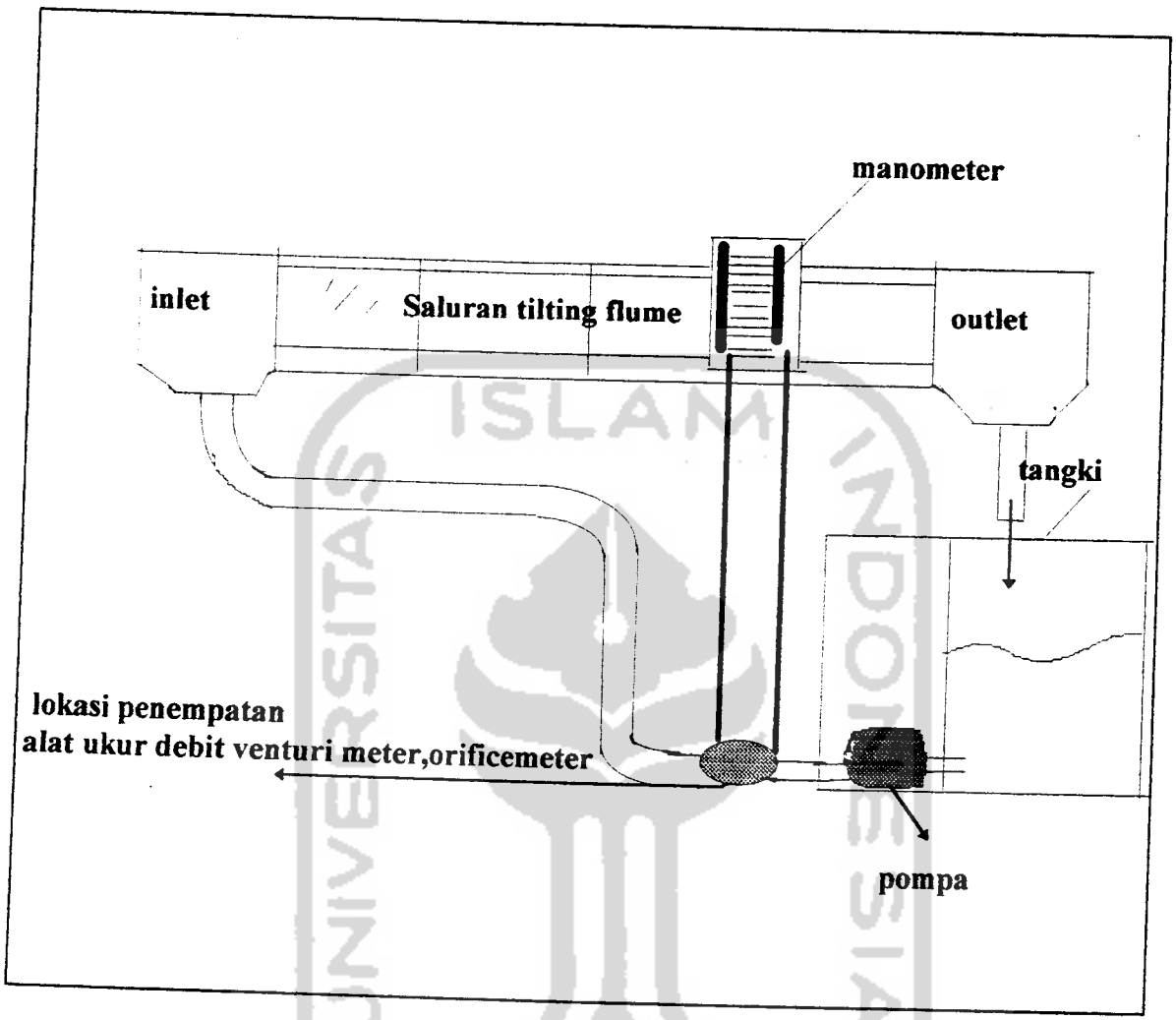
1. cara langsung
2. cara tidak langsung

5. 10. 1. Cara Langsung

Cara langsung adalah istilah untuk menggunakan alat yang diperoleh data debit aliran. Alat yang digunakan berupa "orificemeter", berupa pelat tipis terbuat dari logam dengan lubang ditengahnya. Diameter lubang 90 mm. Pelat terletak diantara dua sayap pipa seperti pada gambar berikut.



Gambar 5. 26. "Orificemeter"



Gambar 5. 27. Letak "orificemeter" dan "venturimeter" di "tilting flume"

Pabrik pembuat Orificemeter biasanya telah mengkalibrasi alat ukur tersebut sehingga mengeluarkan buku manual penggunaan dan spesifikasinya (Work Group, Hand Book of Measurment Science, 1988.).

5. 10. 2. CaraTidak Langsung

Cara tidak langsung adalah cara memperoleh harga debit aliran dengan mengukur fungsi debit.

$$Q = Q(V. t)$$

Dengan V adalah kecepatan aliran, dan t adalah waktu penampungan. Alat ukur standart di laboratorium hidrolika untuk keperluan pengukuran kecepatan aliran pada penelitian lanjutan ada dua yakni :

1. alat ukur "Current meter", dan
2. "Laser Doppler Velocymetry"

"Current meter" merupakan alat pengukur kecepatan yang paling banyak digunakan karena memberikan ketelitian cukup tinggi walaupun harus sering di kalibras. Kecepatan aliran yang diukur adalah kecepatan aliran titik dalam satu penampang aliran tertentu.

Prinsip yang digunakan adalah adanya kaitan kecepatan aliran dengan kecepatan putaran baling-baling dari "Currrent meter". Hubungan tersebut terlihat dalam persamaan berikut ini.

$$\mathbf{V = a. n + b} \qquad \mathbf{(5. 13.)}$$

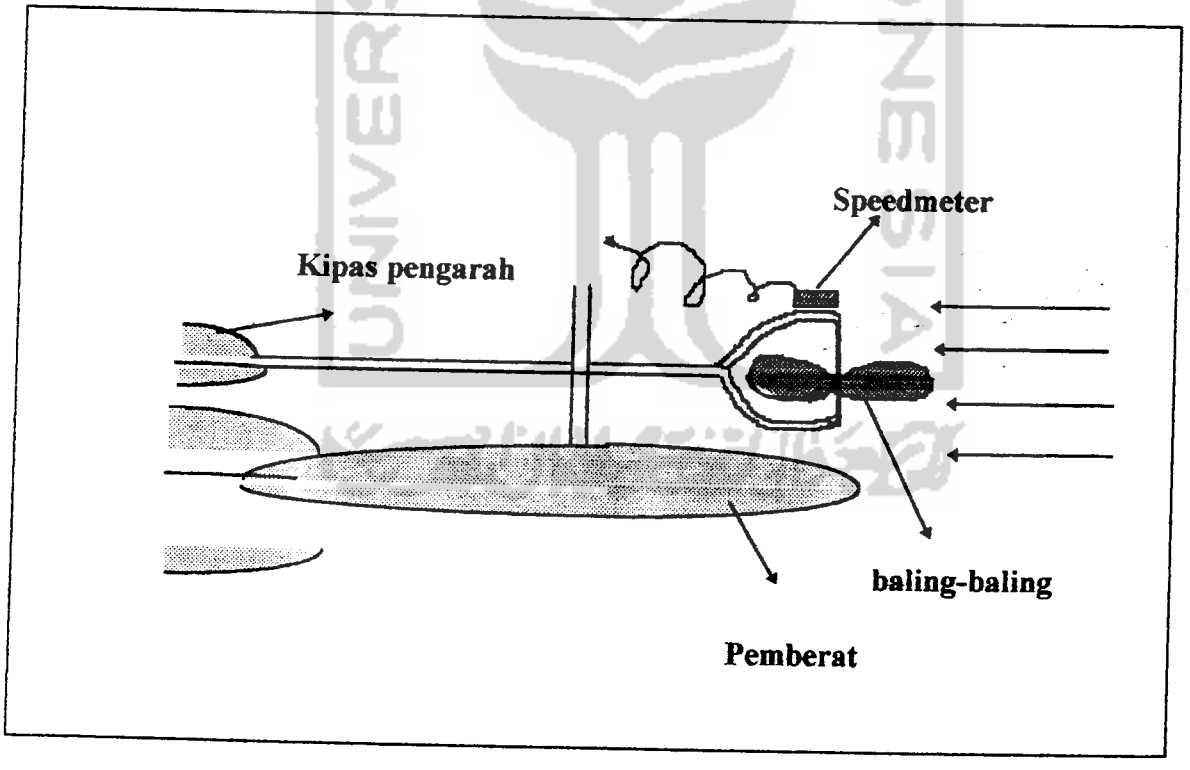
dengan V : kecepatan aliran (m/ s)

n : jumlah putaran (s)

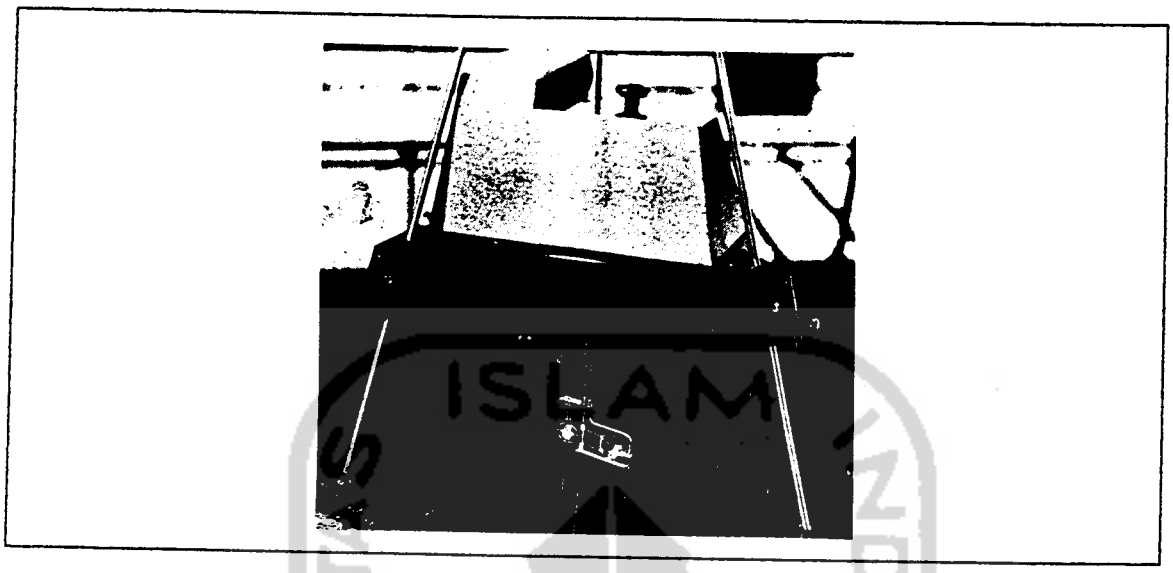
a, b : konstanta kalibrasi

Karena yang diukur adalah kecepatan titik maka dipilih titik yang mewakili seluruh harga kecepatan pada distribusi kecepatan aliran.

"Current meter" diletakkan pada 40% dari tinggi muka air diukur dari dasar saluran.



Gambar 5. 28. Profil "Current Meter"

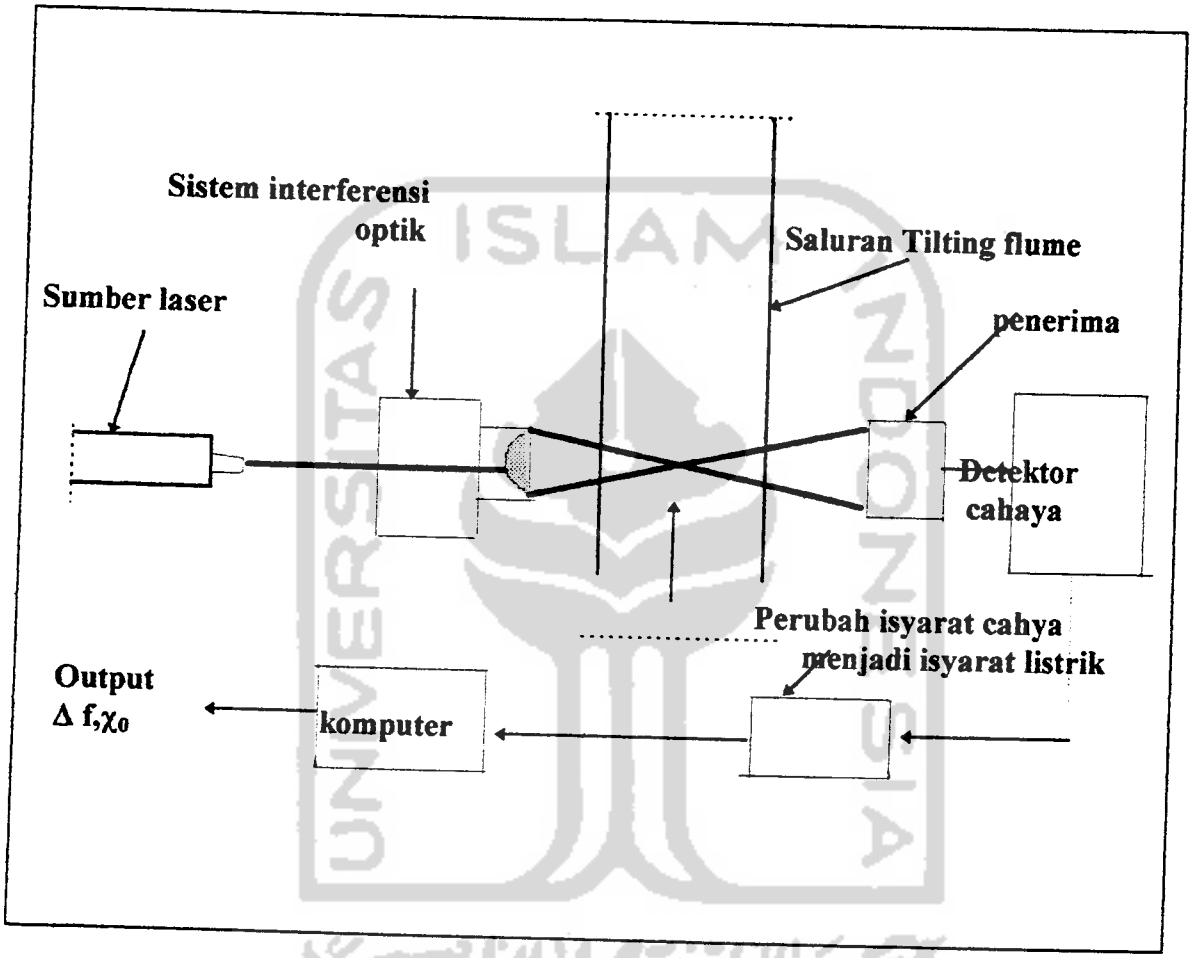


Gambar 5.29. "Current meter" pada "tilting flume"

Pengukuran kecepatan yang memiliki derajat ketepatan tinggi adalah Laser Doppler Velocymetry (LDV). Ditemukan oleh Yeh dan Cumins pada tahun 1964 . Kelebihan LDV adalah : Pertama, mengukur kecepatan tanpa mengganggu aliran. Kedua, data yang diperoleh memiliki kesalahan 0,1% sehingga tidak diperlukan kalibrasi. Ketiga, mempunyai kemampuan mengukur aliran yang memiliki kecepatan tinggi, kecepatan aliran negatip pada fenomena kavitasi, dan kecepatan yang berolak ("turbulensi flow") pada model "water hammer." Ke empat, memiliki kemampuan memetakkan distribusi kecepatan, gambar image aliran dua dan tiga dimensi yang untuk keperluan penelitian. (LSI Laser Doppler Velocymetry, LSI C, 1989.)

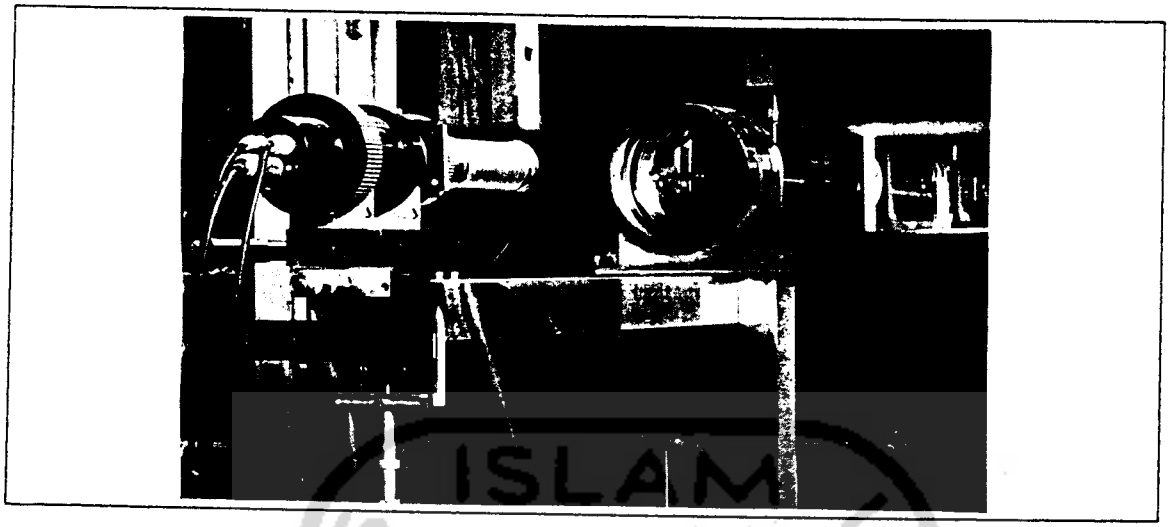
Prinsip bekerjanya menerapkan azas Doppler, seberkas sinar laser berwarna atau monochromatik dipancarkan memasuki sistem interferensi optik sehingga

menghasilkan pola interverensi tiga dimensi yang menyebabkan lintasan berkas sinar laser membentuk sudut α. Seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 5. 30. Sistem kerja L D V

Perpotongan sinar laser pada "tilting flume" membentuk elip dengan lebar 0,5 mm dan garis tengah 0,1 mm. Partikel air yang memiliki kecepatan V memasuki potongan elip yang disebut volume pengukuran.

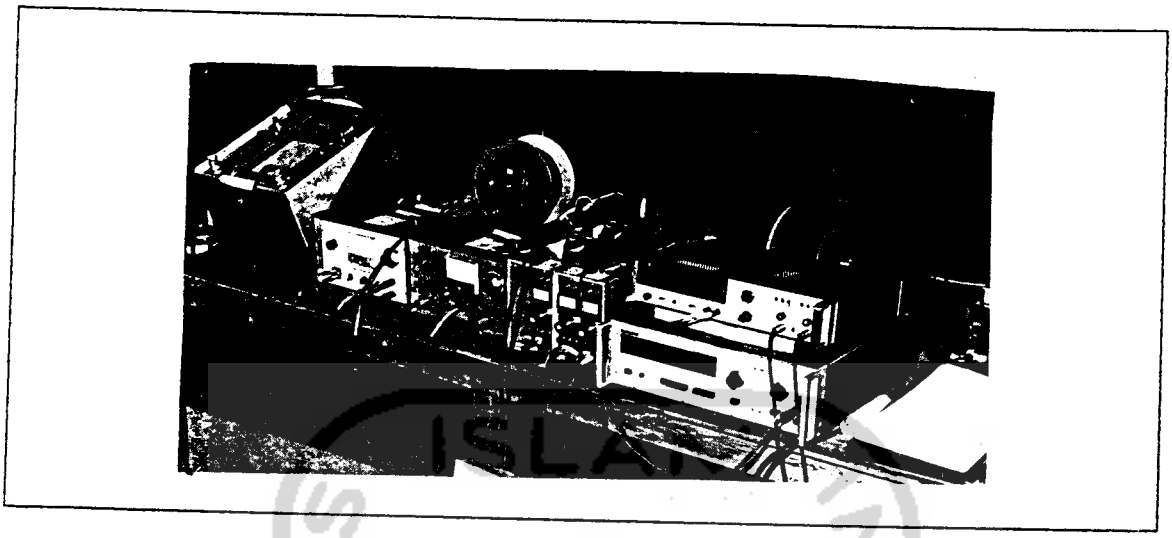


Gambar 5. 31. Berkas laser mamasuki sistem interferensi optik



Gambar 5. 32. Berkas sinar laser yang keluar dari sistem interferensi optik membentuk pola interferensi tiga demensi.

Partikel air yang memasuki volume pengukuran, menghamburkan berkas sinar. Berkas sinar laser yang telah terhambur kemudian melalui sistem penerima optik menuju ke foto detektor yang mengubah cahaya menjadi sinyal isyarat listrik yang dapat ditampilkan di layar komputer.



Gambar 5. 33. Sistem pengubah cahaya menjadi isyarat listrik

Kemudian dari sistem pengubah menuju komputer yang berfungsi menyimpan tampilan grafik dan menghitung frekwensi sinar laser. Kecepatan cahaya (c) merupakan hasil perkalian antara panjang gelombang (χ) dan frekwensi (f)

$$c = \chi . f \qquad (5.14.)$$

Dengan χ adalah panjang gelombang dan f adalah frekwensi dari cahaya tersebut. Partikel air bergerak dengan kecepatan V memasuki volume pengukuran, sehingga menghamburkan berkas sinar laser. Frekwenmsi sinar laser terhambur yang ditangkap oleh sistem penerima sebesar.

$$fo = \frac{(c - V.\vec{ko})}{\chi o}$$

dengan fo : frekwensi sinar laser terhambur

$\vec{V}$: vektor kecepatan partikel air

ko : vektor satuan kearah penerima

χo : panjang gelombang sinar laser terhambur.

bentuk skalarnya;

$$fo = \frac{(c - V \cos \alpha)}{\chi o}$$

Kemudian partikel air meninggalkan volume pengukuran sambil menghamburkan sinar laser. Sehingga berdasarkan azas Dopller, frekwensi sinar laser yang terhambur adalah fs.

$$fs = \frac{c}{c - V.ks}$$

$$fs = \frac{(c - V.ko)}{\lambda o} \cdot \frac{c}{(c - V.ks)}$$

Selisih frekwensi berkas sinar laser terhambur saat memasuki dan meninggalkan volume pengukuran adalah :

$$\Delta f = fs - fo = \frac{c}{\lambda o} \cdot \left(\frac{c - V.ko}{c - V.ks} - 1 \right)$$

$$= \frac{V\,(ks - ko)}{\lambda o\,(1 - \vec{V}.ks/c)}$$

kecepatan partikel zat cair lebih kecil dari kecepatan cahaya ($V << c$), maka

$$\partial f = V\,(ks - ko)$$

namun berkas laser yang memasuki sistem penerima adalah dua buah berkas sehingga

$$\partial f_1 = \frac{V}{\lambda o} \cdot (ks - ko_1)$$

dan berkas sinar 2

$$\partial f_2 = \frac{V}{\lambda o} \cdot (ks - ko_2)$$

Sehingga perubahan frekwensi yang teramati menjadi

$$\Delta f = f_2 - f_1 = \frac{2.V \sin(\theta/2)}{\lambda o}$$

sehingga diperoleh harga kecepatan partikel air sebesar

$$V = \frac{\lambda o.\ \Delta f}{2 \sin (\theta / 2)} \qquad (5.15.)$$

Untuk harga-harga Δf , dan λo secara otomatis dihitung komputer sehingga hasil keluaran komputer berupa kecepatan rata-rata aliran. Untuk memperoleh kecepatan rata-rata aliran volume pengukuran diletakkan pada 40% dari tinggi muka air diukur dari dasar saluran.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6. 1. Kesimpulan

Berdasarkan analisa data-data yang diperoleh dari pengukuran di laboratorium Hidrolika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia adalah sebagai berikut :

1. selisih nilai antara pengukuran koefisien debit dengan formulai empiris dari penelitian Kinsvaster dan Carter menunjukkan banyaknya kehilangan tenaga yang terjadi pada sistem "outlet" dari perilaku aliran di hilir model seperti kavitasi dan loncat air,
2. perilaku koefisien debit tidak konstan, berbeda dengan koefisien debit yang diasumsikan oleh Francis dan Bundchu. Ketidak konstanan nilai koefisien debit disebabkan karena pengaruh variabel tertentu seperti tinggi bukaan pintu sorong, tinggi muka air di hulu pada ambang tajam dan ambang lebar,
3. pada model pintu sorong nilai koefisien debit berbanding lurus dengan koefisien kontraksidan berbanding terbalik terhadap tinggi bukaan pintu. Pada tinggi bukaan pintu tertentu koefisien kontraksi pada pengukuran dengan debit tetap lebih kecil dari pengukuran dengan debit berubah. Kehilangan tenaga pada hilir model disebabkan oleh perilaku aliran berupa loncat air, dan pada sistem "outlet",
4. pada model ambang tajam nilai koefisien debit berbanding lurus dengan tinggi muka air di hulu. Koefisien debit mula-mula dari hasil peneletian di laboratorium adalah 0,553, Kehilangan tenaga terjadi karena pengaruh kavitasi dan sistem "outlet",

5. nilai koefisien debit pada mabang lebar bernding lurus dengan tinggi muka air di hulu. Kehilangan energi terjadi karena pengaruh kavitasi pada sistem "outlet".
6. koefisie debit V-notch berbanding lurus dengan tinggi muka air di hulu. Kehilangan energi terjadi karena pengaruh kavitasi dan sistem "outlet, dan
7. kesalahan relatif pengukuran pada keempat model berkisar antara 5,507% sampai 14,545% dan ketelitian pengukuran berkisar antara 85,545% sampai 94,49%.

6. 2. Saran

Berdasarkan kesulitan yang terjadi pada saat penelitian maka penulis mengajukan saran sebagai berikut:

1. tingkat ketelitian alat ukur debit dengan volume tampungan cukup memadai tetapi dalam penelitian masih harus lebih teliti didalam pembacaan angka karena pengaruh pengaruh fluktasi menyebabkan cukup kasar nilai yang didapat, maka disarankan untuk merubah bentuk volume tampungan dan sistem "outlet" yang dipakai, dan menambahkan alat ukur standar yang digunakan pada laboratorium hidrolika seperti "orificemeter", "currentmeter", "venturimeter", "laser doppler velocymetri",
2. hendaknya dilakukan kajian ulang atau penelitian lagi tentang pengukuran koefisien debit dengan model-model alat ukur debit yang lain dengan menggunakan alat ukur standar. Kemudian dibuat liku kalibrasi terhadap model-model tersebut untuk keperluan penelitian dan selanjutnya sebagai alat ukur debit.

DAFTAR PUSTAKA

———, 1981, DELFT HYDRAULIC MAGAZINE, International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering, Delft.

———, 1988, Discharge Flow Measurement, Working Group of Hydraulic Structures, Delft.

———, Kriteria Perencanaan (K.P.) 01: Pengairan dan Irigasi, Yayasan Penerbitan P.U., Jakarta.

———, Kriteria Perencanaan (K.P.) 02: Pengairan dan Irigasi, Yayasan Penerbitan P.U., Jakarta.

———, 1989, Laser Doppler Velocymetry, LSI Co., New York.

———, Panduan Praktikum Mekanika Fluida dan Hidrolika, Keluarga Mahasiswa Teknik Sumber Daya Air ITB, Bandung.

———, 1986, Penuntun Praktikum Fisika Dasar, Laboratorium Fisika Dasar Fakultas MIPA UGM, Yogyakarta.

Ackers, P., 1980, Weir ang Flumes for Flow Measurement, John Wiley & Sons, Ltd., New York.

Bambang Triatmodjo, 1993, Analisa Numerik, PAU Ilmu Teknik UGM, Yogyakarta.

Budi Wignyosukarto, 1991, Hidrolika Saluran Terbuka, PAU Ilmu Teknik UGM, Yogyakarta.

Chow, V. T., 1991, Hidrolika Saluran Terbuka (terjemahan).

Djoko Legono dan Nizam, 1988, Hidrolika Eksperimen, PAU Ilmu Teknik UGM, Yogyakarta.

Henderson, F.M., 1966, Open Channel Flow, MacMillan Publishing Co., Inc., New York.

Herschy, R.W., 1985, Stream Flow Measurement, Elseviver Applied Science Publisher, London.

K. Tedjoyuwono, Velocity of Flow Measurement with Laser Doppler Velocymetry, Doctor Thesis (tidak dipublikasikan), Hokkaido University, Hokkaido.

Novak, P., 1981, Applied Hydraulic, International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering, Delft.

Nur Yuwono, Model Hidrolik, Keluarga Mahasiswa Pasca Sarjana Teknik Sungai dan Pengairan, PAU Ilmu Teknik UGM, Yogyakarta.

Sapka Adiantara, 1994, Studi Pengoperasian Beberapa Model Bangunan Air pada Tilting Flume, Tesis Sarjana (tidak dipublikasikan), Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.

Sudjarwadi, 1988, Penjelasan Model Pintu Air, PAU Ilmu Teknik UGM, Yogyakarta.

LAMPIRAN

PENELITIAN I
MODEL PINTU SORONG

Bilangan Froude di seluruh titik pengukuran :

$$F = \frac{Q}{B \cdot h^{1,5} \cdot g^{0,5}}$$

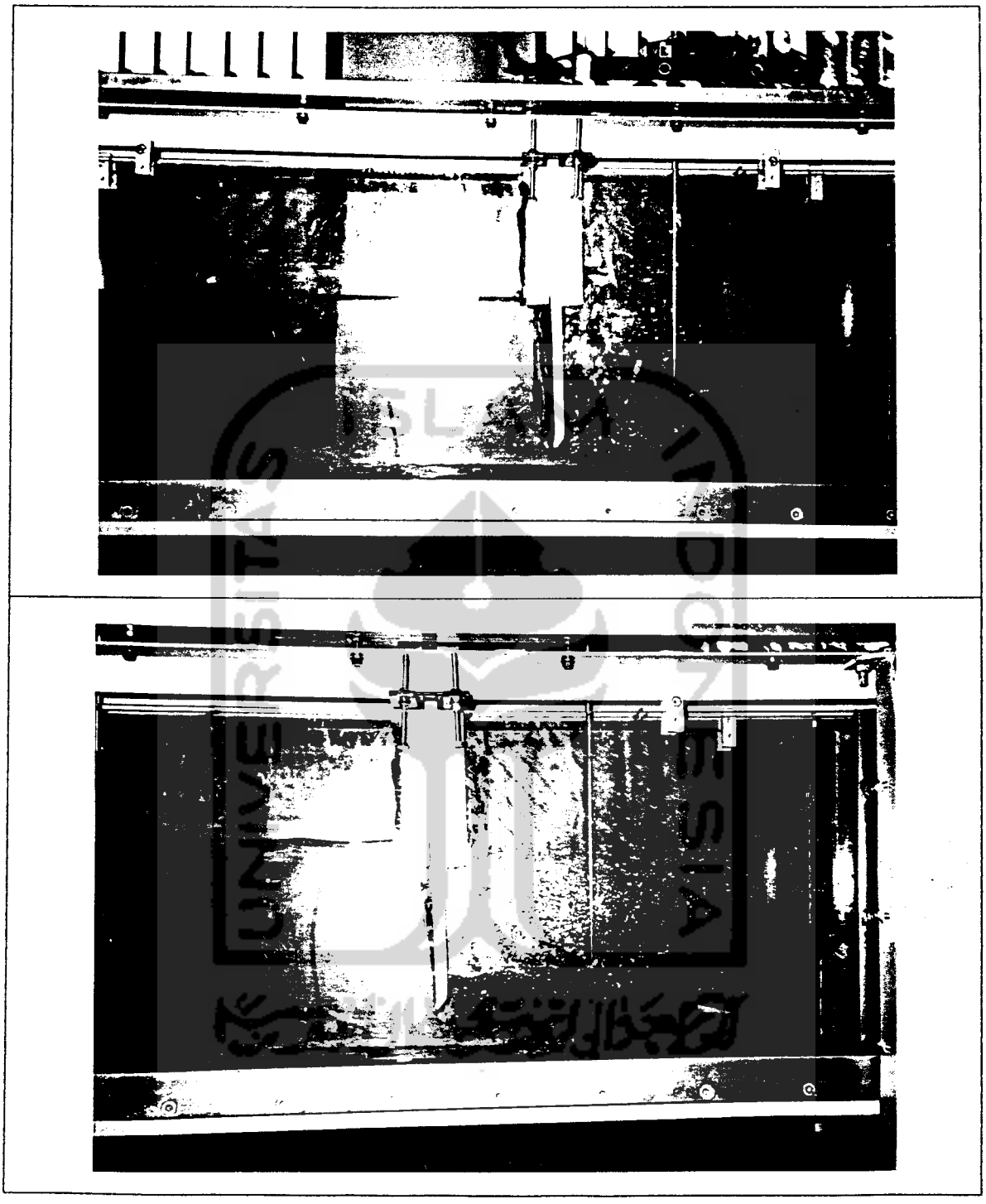
Koefisien debit pengukuran dengan metode volume tampungan :

$$Cd = \frac{V}{hg.B.T.\sqrt{(2.g.h_1)}}$$

dengan : V = volume tampungan
T = waktu penampungan
hg = tinggi bukaan pintu
g = percepatan gravitasi (9,81 meter/detik^2)



Gambar model pintu sorong



Gambar model pintu sorong

PENGUKURAN WAKTU PENAMPUNGAN PINTU SORONG													
Jml	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Rata-rata	Sd	rT
I	5,3	5,2	5	5,3	5,4	5,4	5,4	5,2	5,3	4,6	5,21	0,25	4,70%
II	4,3	4,2	4,1	4,3	4,3	4,2	4,2	4,2	4,6	4,3	4,27	0,13	3,04%
III	4	3,8	4	4,1	4	4,1	4	2,9	4	4,1	3,9	0,36	9,23%
IV	3,6	3,5	3,7	3,8	3,6	3,6	3,3	3,5	3,6	3,5	3,57	0,13	3,61%
V	2,5	3,3	3,2	3,2	3,3	3,4	3,5	3,1	3,2	3,3	3,2	0,27	8,44%
VI	3	2,7	3,1	3	2,7	3,1	2,9	1,8	2,7	3	2,8	0,39	13,92%
VII	2,5	2,6	2,4	2,6	2,7	2,5	2,7	2,4	3	2,6	2,6	0,18	6,92%
VIII	2,5	2,3	2,4	2,4	2,3	2,4	2,5	2,4	2,3	2,5	2,4	0,08	3,33%
IX	2,4	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,3	2,3	2,1	2,3	0,08	3,48%

PENGUKURAN KOEFISIEN DEBIT DENGAN DEBIT TETAP							
Q (M3/DETIK)	0,0024	0,0024	0,0024	0,0024	0,0024	0,0024	0,0024
h1 (mm)	200	180	160	140	120	100	90
h2 (mm)	16	20	23	26	28	31	34
Cd	0,606	0,5111	0,4515	0,4137	0,391	0,381	0,114
Cd teori	0,769	0,759	0,7106	0,67	0,6303	0,6028	0,579
Cc	0,8	0	0,76	0,74	0,7	0,69	0,68
hg/h1	0,1	0,138	0,1875	0,25	0,33	0,45	0,55

TABEL PENELITIAN PINTU SORONG									
Jumlah Penelitian	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kedalaman air hulu (h1) (mm)	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Tinggi bukaan (hg) (mm)	16	19	22	25	28	31	33	35	37
Volume air tertampung (V) (m3)	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125
Debit Aliran (Q) (m3/detik)	0,0024	0,00293	0,0032	0,035	0,0039	0,0044	0,0048	0,0052	0,0055
Cd	0,606	0,5936	0,5387	0,505	0,492	0,4938	0,4848	0,4775	0,4629
Cd teori	0,769	0,7262	0,6928	0,6693	0,6556	0,6327	0,6115	0,5812	0,5659
Cc (koefisien kontraksi)	0,8	0,76	0,73	0,71	0,7	0,68	0,66	0,63	0,616
hg/h1	0,1	0,125	0,15	0,175	0,2	0,225	0,25	0,275	0,3
h2/h1	0,08	0,095	0,11	0,125	0,14	0,155	0,165	0,175	0,185

Lampiran 1.3

PENELITIAN II
MODEL BENDUNG AMBANG TAJAM

Tinggi tenaga dan "Froude Number" pada titik-titik pengukuran :

1. Titik pengukuran hulu :

$$H = h_1 + \frac{Q^2}{2.g.B^2.h_1} \qquad Fr = \frac{Q}{B.h_1^{1,5}.g^{0,5}}$$

2. Titik pengukuran di atas ambang :

$$H = h_2 + \frac{Q^2}{2.g.B^2.h_2} \qquad Fr = \frac{Q}{B.h_2^{1,5}.g^{0,5}}$$

dengan : B = lebar saluran "tilting flume"
Q = debit aliran
Fr = "Froude Number"
h_1 = tinggi permukaan air di hulu
h_2 = tinggi permukaan air di atas ambang
g = percepatan gravitasi
w = tinggi ambang (11,65 cm)

Syarat aliran modular untuk bendung ambang tajam :

$h_3 < 2/3\ h_1$

Koefisien debit pengukuran dengan metode volume tampungan :

$$Cd = \frac{V}{2,953 \cdot B \cdot h_1 \cdot T} = 0,556$$

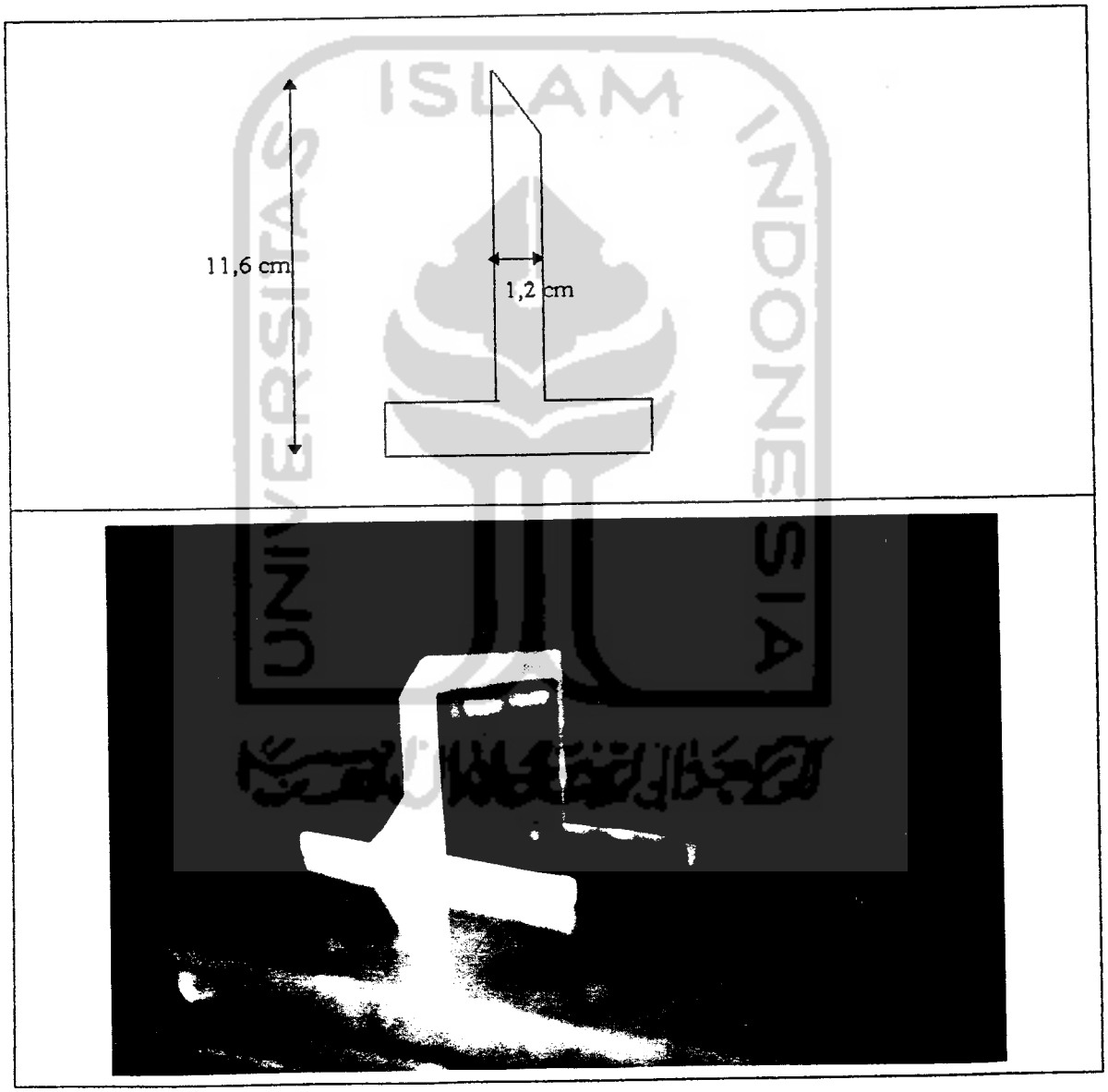
dengan : V = volume tampungan
T = waktu penampungan

Contoh hitungan :
Diketahui : $V = 0,0425\ m^3$
$T = 75$ detik
$B = 10$ cm $= 0,1$ m
$h_1 = 10,1$ mm $= 0,0101$ m

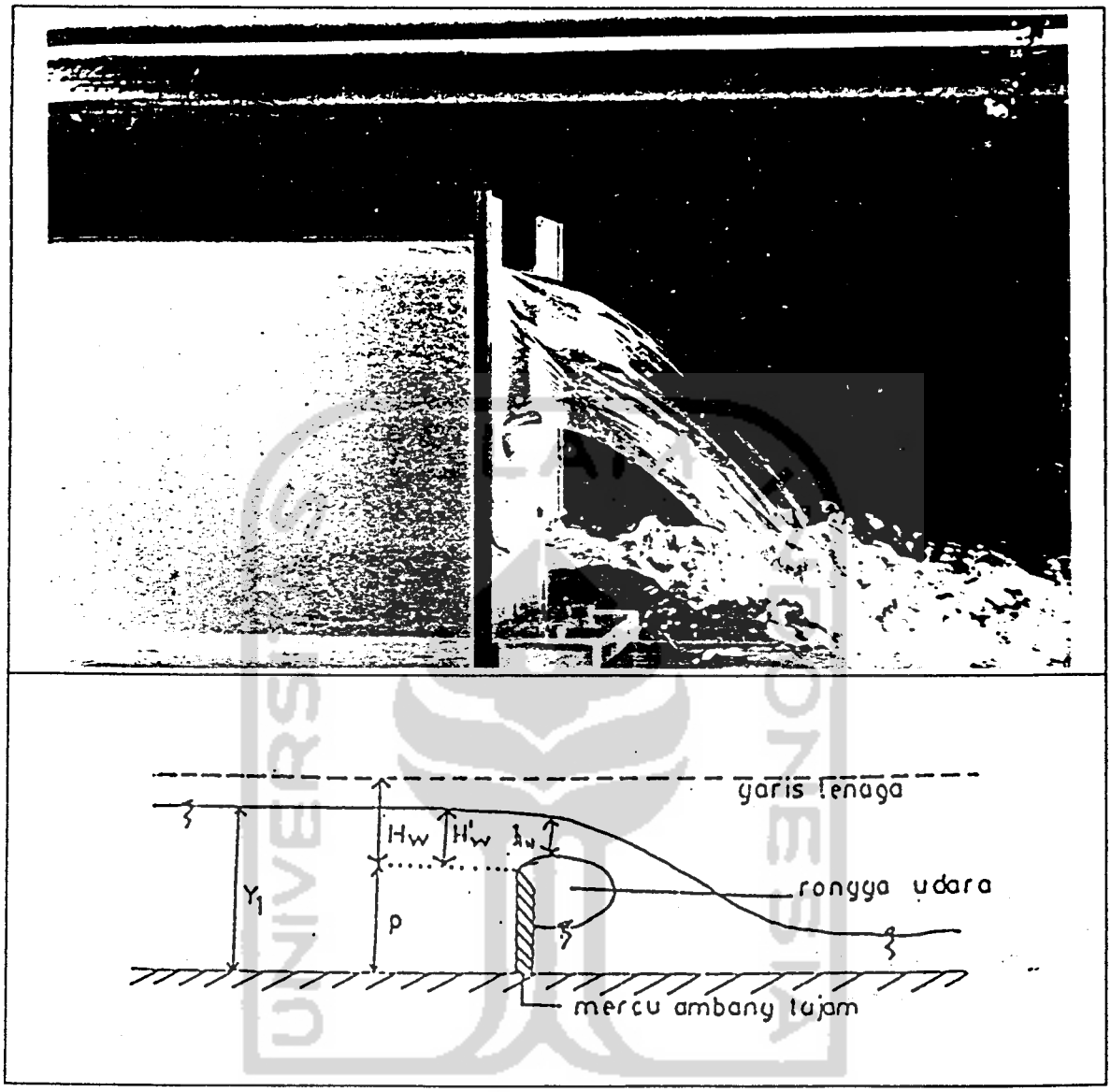
$$Cd = \frac{0,0125}{2,953 \cdot 0,1 \cdot 0,0101 \cdot 75} = 0,556$$

Rumus koefisien debit hasil pengukuran R.W. Herschy (1985) :

$$Cd = 0,602 + 0,075 \frac{h_1}{w}$$



Gambar model bendung ambang tajam



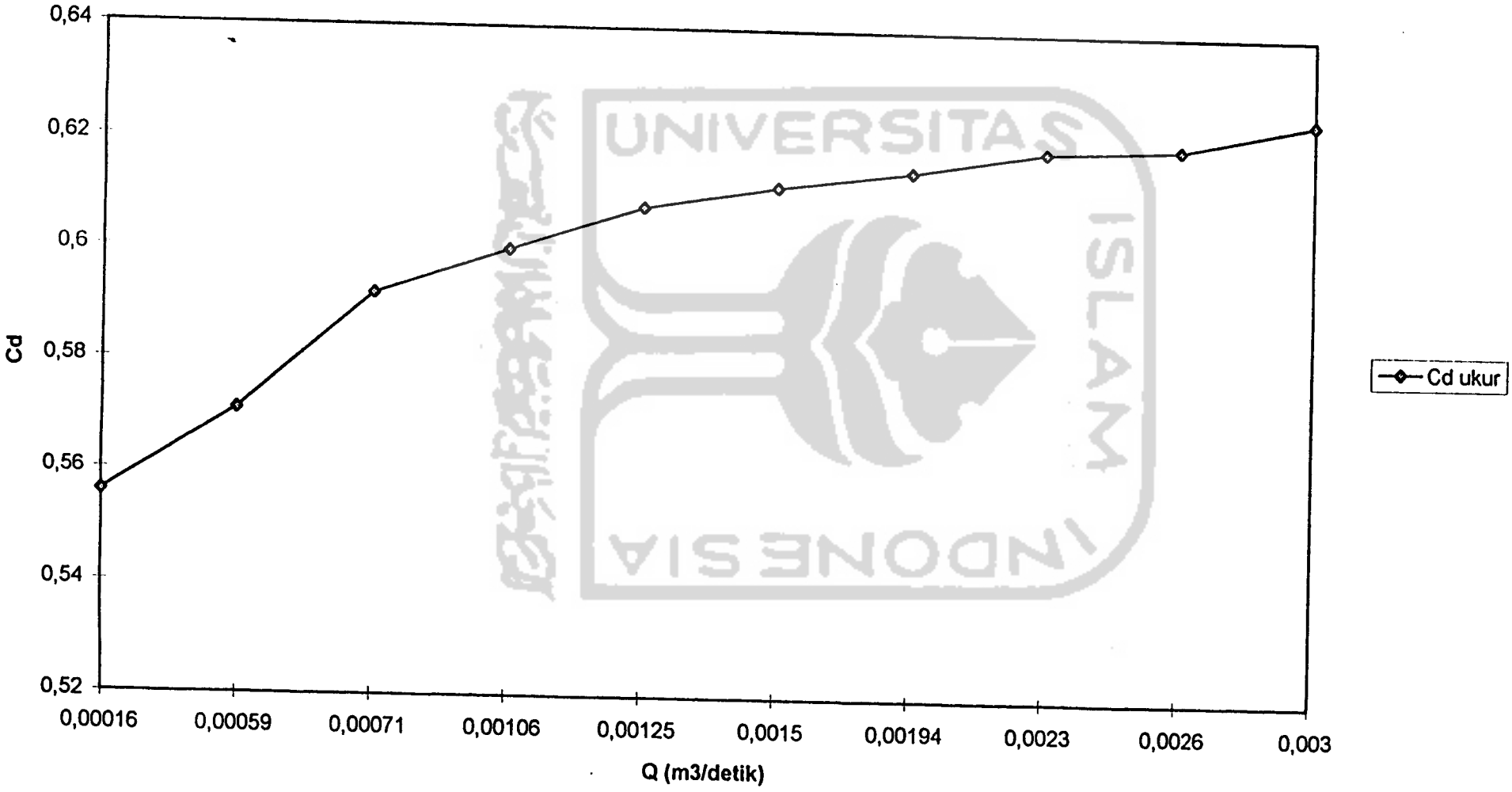
Gambar model bendung ambang tajam

PENGUKURAN WAKTU PENAMPUNGAN P	BENDUNG AMBANG	TAJAM										
Jml	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Rata-rata	Sd	rT
I	74,9	74,9	75,1	75,1	75	74,8	74,9	75,1	75,3	74,9	75	0,15	0,20%
II	21,3	21,3	21,2	21,2	21,2	21,3	21,2	21,3	21,3	21,3	21,26	0,05	0,24%
III	17,7	17,6	17,7	17,8	17,6	17,5	17,8	17,4	17,8	17,8	17,67	0,14	0,79%
IV	11,8	11,7	11,6	11,5	11,8	11,8	11,6	11,8	11,8	12,5	11,79	0,27	2,29%
V	10	9,9	10	9,8	9,8	9,8	9,8	10	10	10	9,98	0,2	2,00%
VI	8,3	8,5	8	8,5	8,2	8,4	8,6	8,3	8,3	8,2	8,33	0,18	2,16%
VII	6,5	6,6	6,6	6,4	6,4	6,6	6,5	6,1	6,4	6,3	6,44	0,16	2,48%
VIII	5,6	6	5,5	5,3	5,2	5,6	5,5	5,5	5,6	5,5	5,53	0,21	3,80%
IX	5	4,9	4,9	5,1	4,6	4,7	4,6	4,9	4,6	4,7	4,8	0,18	3,75%

KETERANGAN	TABEL PERCOBAAN BENDUNG AMBANG TAJAM									
Percobaan ke...	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tinggi muka air di hulu (h1) (mm)	10,1	23	25,4	33	36,5	41	48,5	53,5	59	65,5
Tinggi muka air di ambang (h2) (mm)	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
Tinggi muka air di hilir (h3) (mm)	10,1	23	25,4	33	36,5	41	48,56	53,5	59	65,5
Volume air tertampung (V) (m3)	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125
Waktu penampungan (T) (detik)	75	21,26	17,67	11,79	9,98	8,33	6,44	5,53	4,8	4,03
Debit pengukuran (Q) (m3/detik)	0,00016	0,00059	0,00071	0,00106	0,0125	0,0015	0,00194	0,0023	0,0026	0,003
Koefisien debit pengukuran (Cd)	0,556	0,571	0,592	0,6	0,608	0,612	0,615	0,619	0,62	0,625
Froude number di ambang (Fr)	0,8115	1,3356	1,083	1,18	1,1	0,981	0,93051	0,871	0,8755	0,8625
Cd empiris (Reginald)	0,6085	0,6168	0,6184	0,6232	0,6255	0,6284	0,63323	0,6364	0,63998	0,6442
Q empiris (Reginald) (m3/detik)	0,00182	0,0063	0,0074	0,011	0,0129	0,0154	0,01997	0,0232	0,0271	0,032
T penampungan Reginald (detik)	6,8681	1,9481	1,6891	1,1363	0,969	0,8117	0,62593	0,53879	0,4613	0,3906
h1/w	0,087	0,198	0,2189	0,2845	0,3147	0,3554	0,4181	0,4612	0,5086	0,56646

Lampiran 2.4

HUBUNGAN ANTARA KOEFISIEN DEBIT PENGUKURAN TERHADAP DEBIT ALIRAN (PENGUKURAN VOLUME TAMPUNGAN) PADA MODEL BENDUNG AMBANG TAJAM



Lampiran 2.5

PENELITIAN III
MODEL BENDUNG AMBANG LEBAR

Tinggi tenaga aliran dan "Froude Number" pada titik-titik pengukuran :

1. Titik pengukuran hulu :

$$H = h_1 + \frac{Q^2}{2.g.B^2.h_1^2} \qquad Fr = \frac{Q}{B.h_1^{1,5}.g^{0,5}}$$

2. Titik pengukuran di atas ambang :

$$H = h_2 + \frac{Q^2}{2.g.B^2.h_2^2} \qquad Fr = \frac{Q}{B.h_2^{1,5}.g^{0,5}}$$

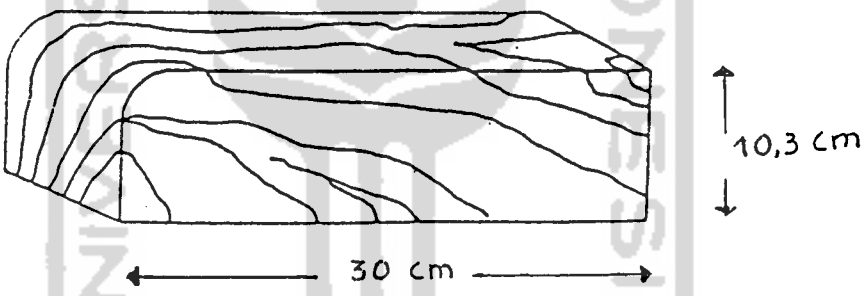
dengan : B = lebar saluran "tilting flume"
Q = debit aliran
Fr = "Froude Number"
h_1 = tinggi permukaan air di hulu
h_2 = tinggi permukaan air di atas ambang
g = percepatan gravitasi
w = tinggi ambang (11,65 cm)

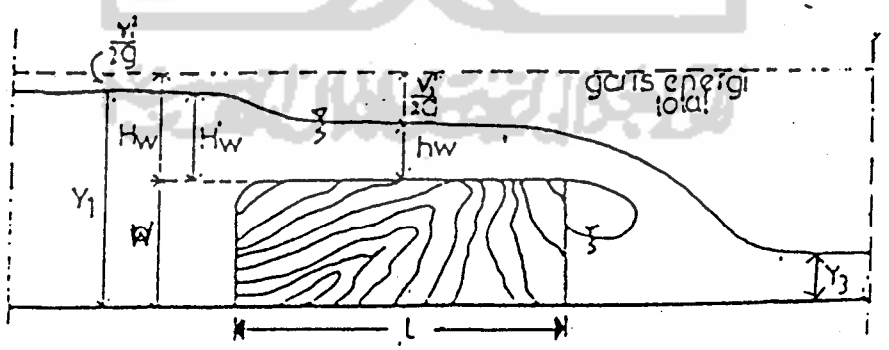
Koefisien debit pengukuran dengan metode volume tampungan :

$$Cd = \frac{V}{1,705 \,.\, B \,.\, T \,.\, H^{1,5}}$$

dengan : V = volume tampungan
T = waktu penampungan







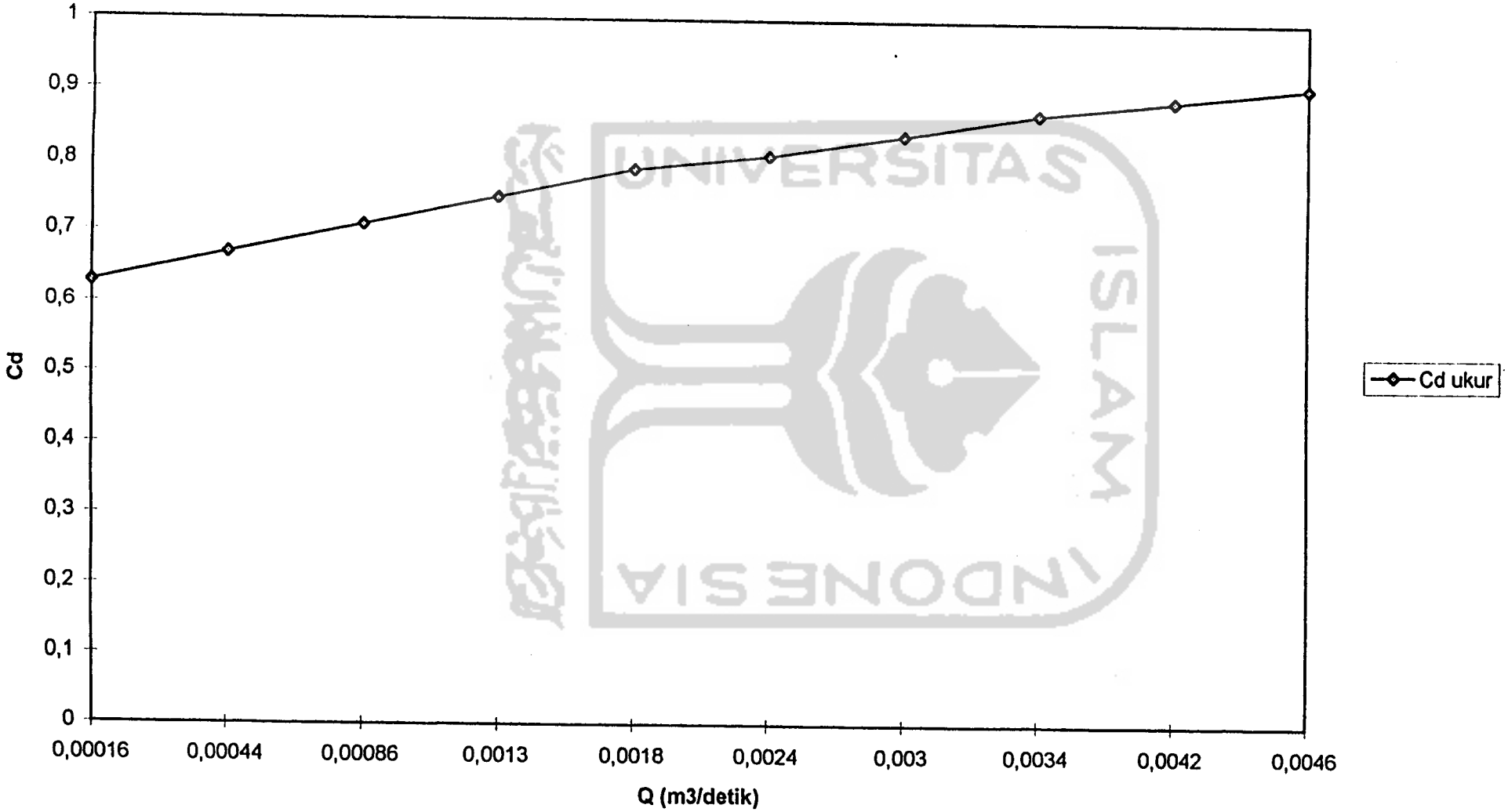
Gambar model bendung ambang lebar

PENGUKURAN WAKTU PENAMPUNGAN P	BENDUNG AMBANG LEBAR												
Jml	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Rata-rata	Sd	rT
I	76,3	71	75,3	79,6	79,8	80,6	75,9	78	81,1	83	78,06	3,51	4,49%
II	28,3	28,1	28,6	28,8	28,5	27,9	26,9	28,1	28,2	28,9	28,23	0,57	2,02%
III	15	14,8	14,6	14,5	14,8	14,2	14,2	14	14,9	15	14,6	0,36	2,47%
IV	10,6	9,8	9,4	9,3	9,2	9	9,1	9	9,2	9,6	9,42	0,49	5,52%
V	6,8	6,8	6,9	6,6	6,9	6,6	6,9	6,7	6,9	7,1	6,82	0,15	2,20%
VI	5,2	5,2	5,4	5,2	5,2	5,2	5,3	5,3	5,3	5,2	5,25	0,07	1,33%
VII	4,3	3,9	4,1	4,2	4,1	4	4	4,1	4	4,2	4,09	0,12	2,93%
VIII	3,8	3,6	3,4	3,6	3,8	3,4	3,5	3,5	3,8	3,8	3,62	0,17	4,70%
IX	2,9	2,9	2,9	3	2,9	3,1	2,9	3,1	3	3	2,97	0,08	2,69%

KETERANGAN	TABEL PERCOBAAN BENDUNG AMBANG LEBAR									
Percobaan ke.....	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tinggi muka air hulu (h1) (mm)	13	23	36	46	56	66	76	80	90	95
Tinggi muka air di ambang (h2) (mm)	10	16	25	31	38	45	52	55	61	65
Tinggi muka air di hilir (h3) (mm)	5	6	9	12,5	13,5	19	21	25,5	32	45
Volume air tertampung (V) (m3)	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125
Waktu penampungan (T) (detik)	78,06	28,23	14,6	9,42	6,82	5,26	4,09	3,62	2,97	2,74
Debit pengukuran (Q) (m3/detik)	0,00016	0,00044	0,00086	0,0013	0,0018	0,0024	0,003	0,0034	0,0042	0,0046
Koefisien debit pengukuran (Cd)	0,6285	0,67	0,71	0,75	0,79	0,81	0,84	0,87	0,89	0,91
Cd empiris (Reginald)	0,8703	0,917	0,94	0,949	0,954	0,958	0,961	0,962	0,964	0,965
Q empiris (Reginald)	0,00027	0,00058	0,0011	0,0016	0,0022	0,0028	0,0036	0,0039	0,0045	0,00499
h_1/L	0.043	0,077	0,12	0,153	0,1867	0,122	0,12533	0,12667	013	013167

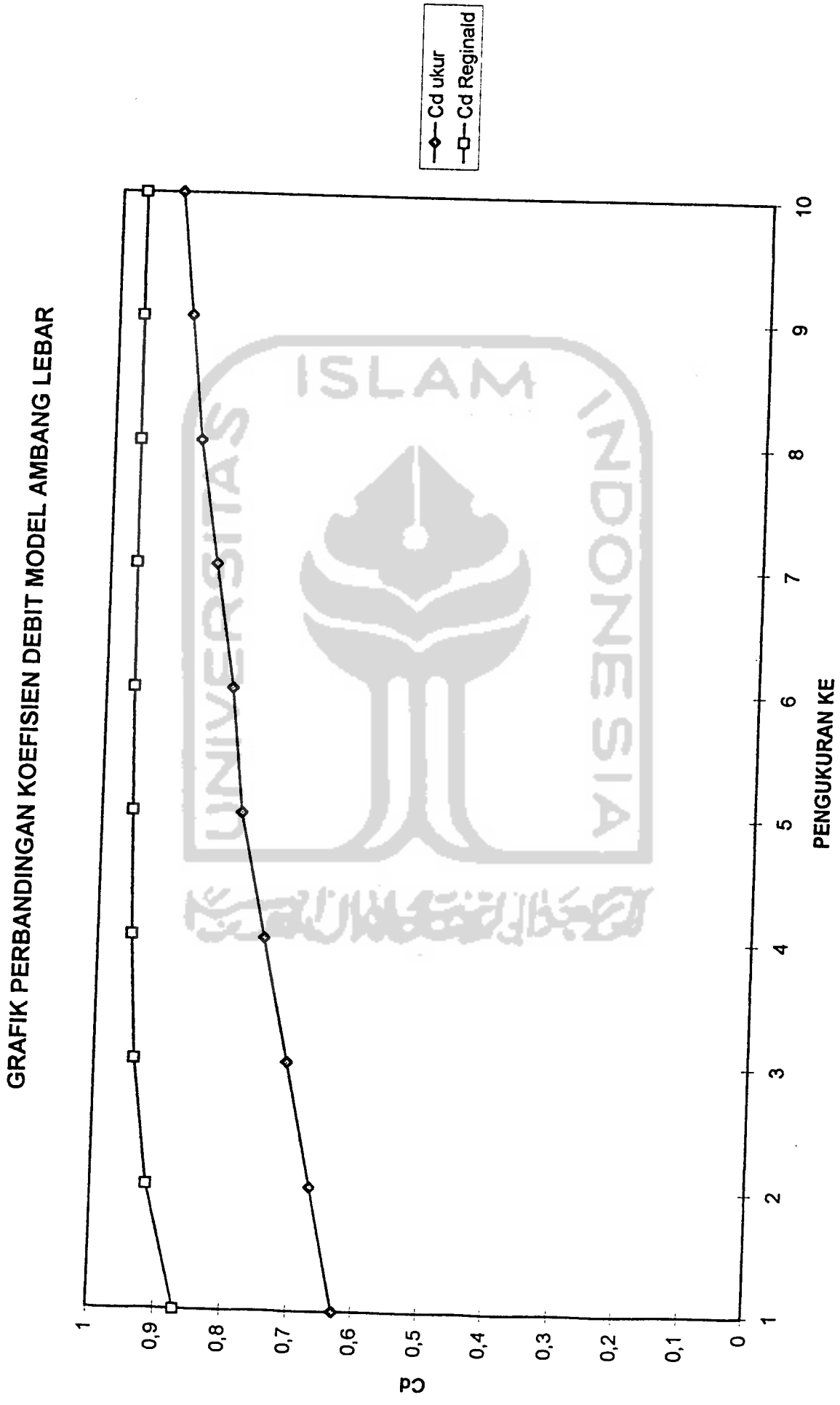
Lampiran 3.3

GRAFIK HUBUNGAN ANTARA KOEFISIEN DEBIT DENGAN DEBIT ALIRAN MODEL AMBANG LEBAR



Lampiran 3.4

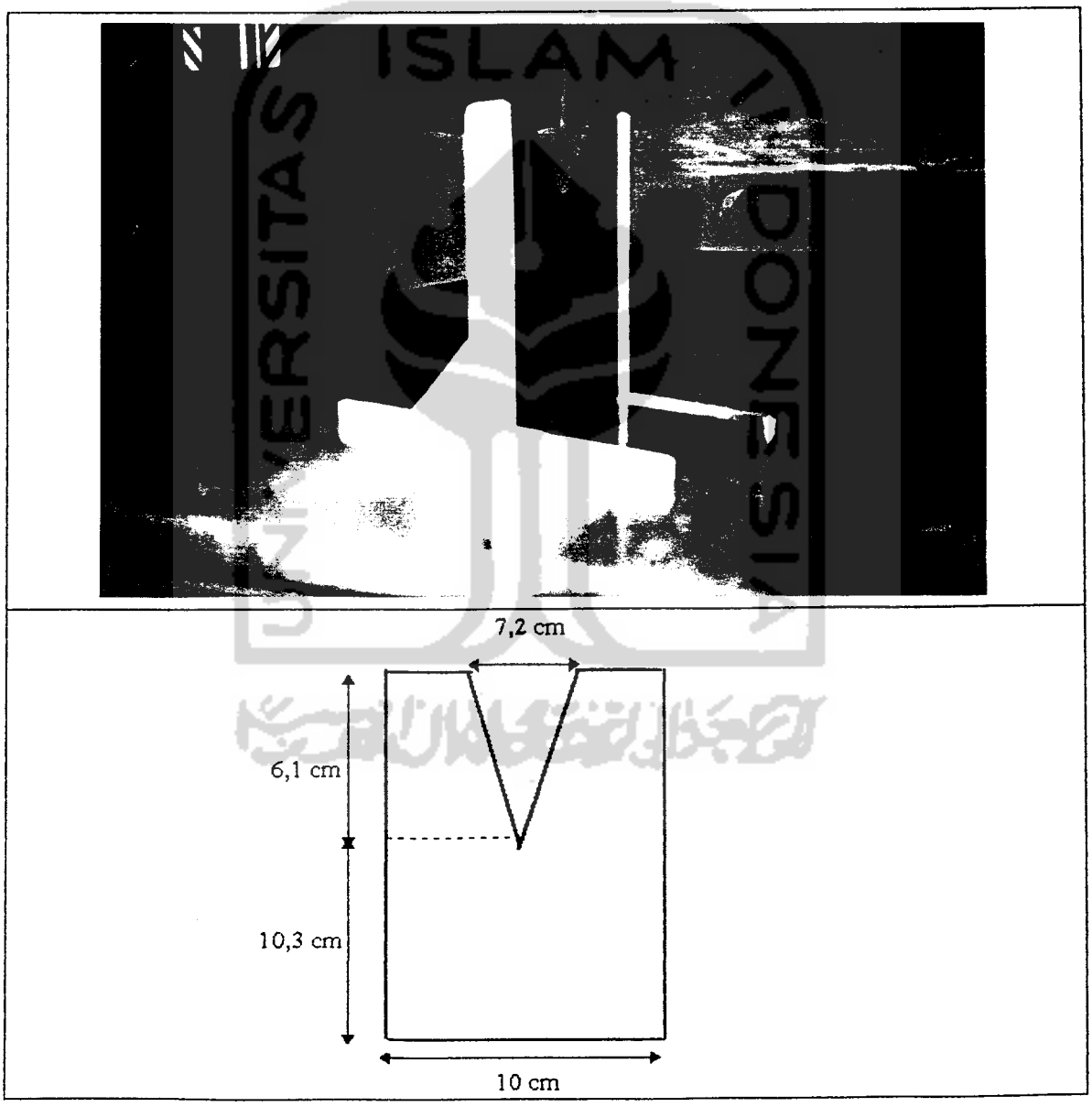
Lampiran 3.5


GRAFIK PERBANDINGAN KOEFISIEN DEBIT MODEL AMBANG LEBAR
Cd ukur
Cd Reginald
Cd
PENGUKURAN KE
0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

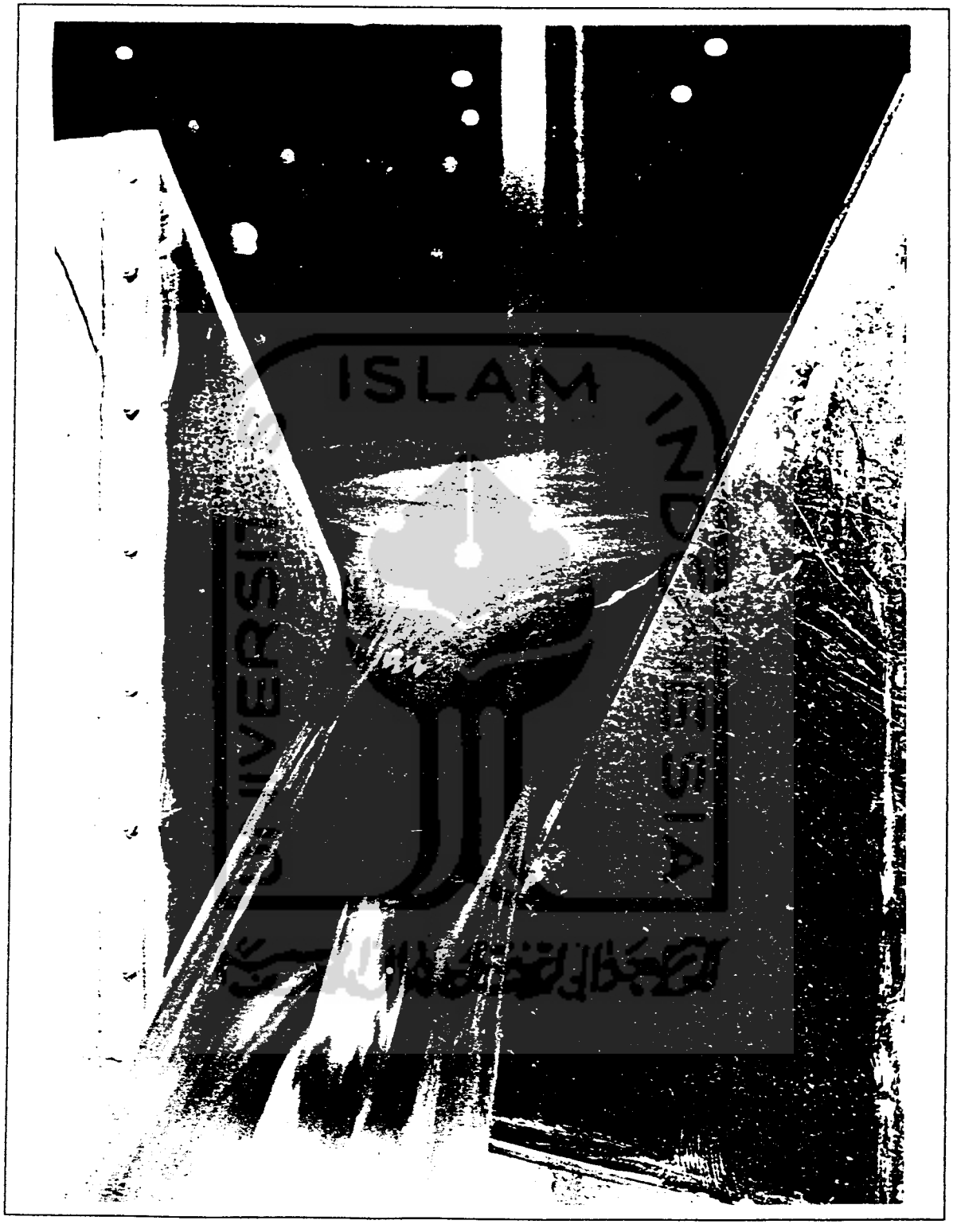
PENELITIAN IV
MODEL BENDUNG "V-NOTCH"

Koefisien debit pengukuran dengan metode volume tampungan :

$$Cd = \frac{V}{3{,}54 \cdot T \cdot h_1^{5/2}}$$



Gambar model bendung "v-notch"



Gambar bendung "v-notch" standar yang digunakan untuk keperluan penelitian



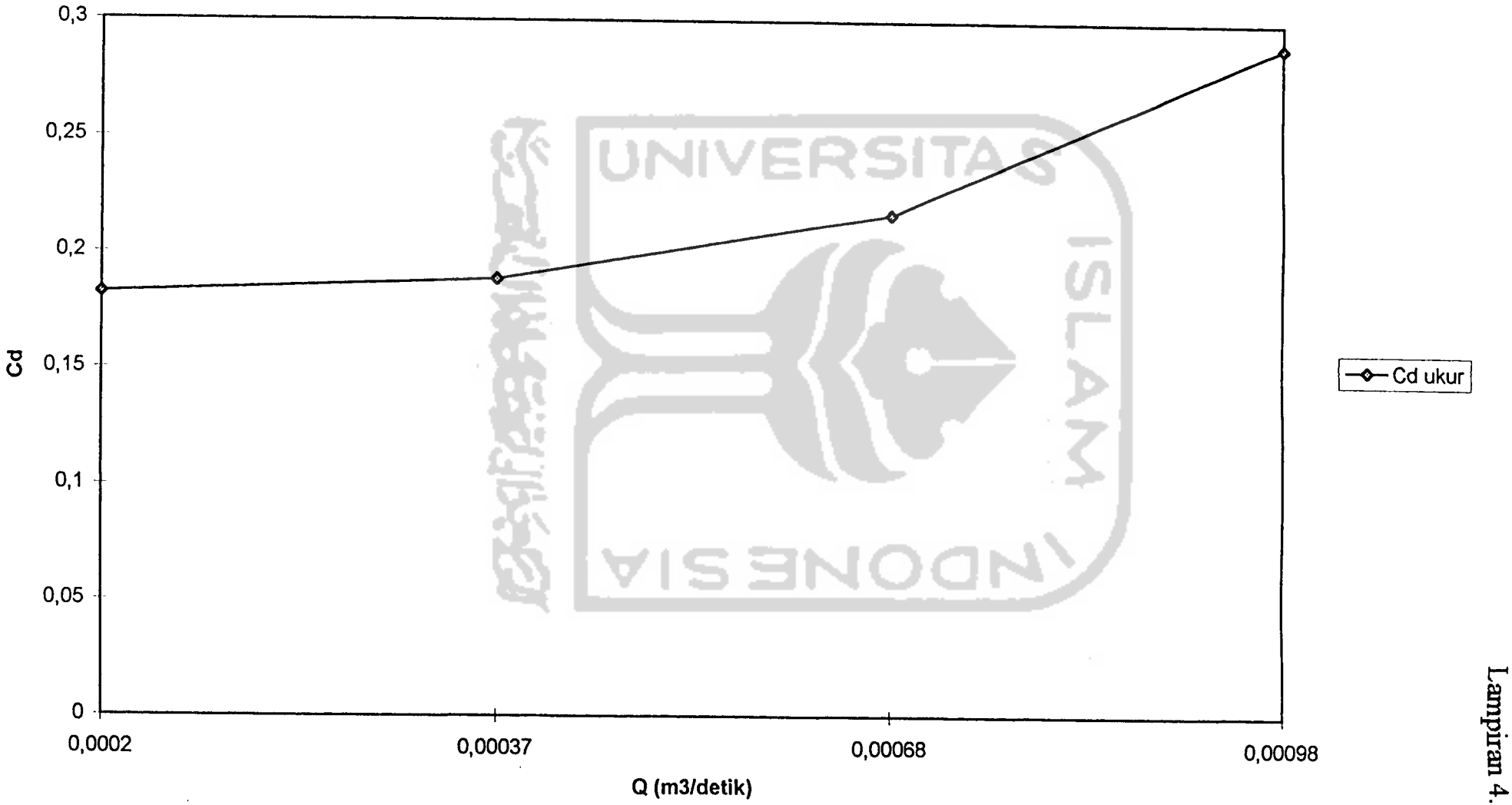
Gambar bendung "v-notch"

PENGUKURAN WAKTU PENAMPUNGAN P V-Notch													
Jml	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Rata-rata	Sd	rT
I	60,4	61	62	61	63	64	61	65	45,5	61	60,39	5,46	9,03%
II	34	35	33	33	35	34	35	34	27,4	34	33,4	2,25	6,73%
III	19	18,3	18,3	18,2	18	18,2	18,2	18,4	18.3	19,3	18,42	0,4	2,17%
IV	12,5	12,6	12,4	12,3	14,4	12,6	12,6	12,7	12,6	12,5	12,72	0,6	4,72%

KETERANGAN	TABEL PERCOBAAN V-NOTCH			
Percobaan ke...	1	2	3	4
Tinggi muka air di hulu (h1) (mm)	40	50	60	62
Tinggi muka air di atas ambang (h2) (mm)	38	48	58	60
Tinggi muka air di hilir (h3) (mm)	11	12	14	16
Volume air tertampung (V) (m3)	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125
Waktu penampungan (T) (detik)	60,39	33,44	18,42	12,72
Debit pengukuran (Q) (m3/detik)	0,0002	0,00037	0,00068	0,00098
Koefisien debit pengukuran (Cd)	0,1827	0,1889	0,217	0,29
	0,1384	0,149	5,158	0,60

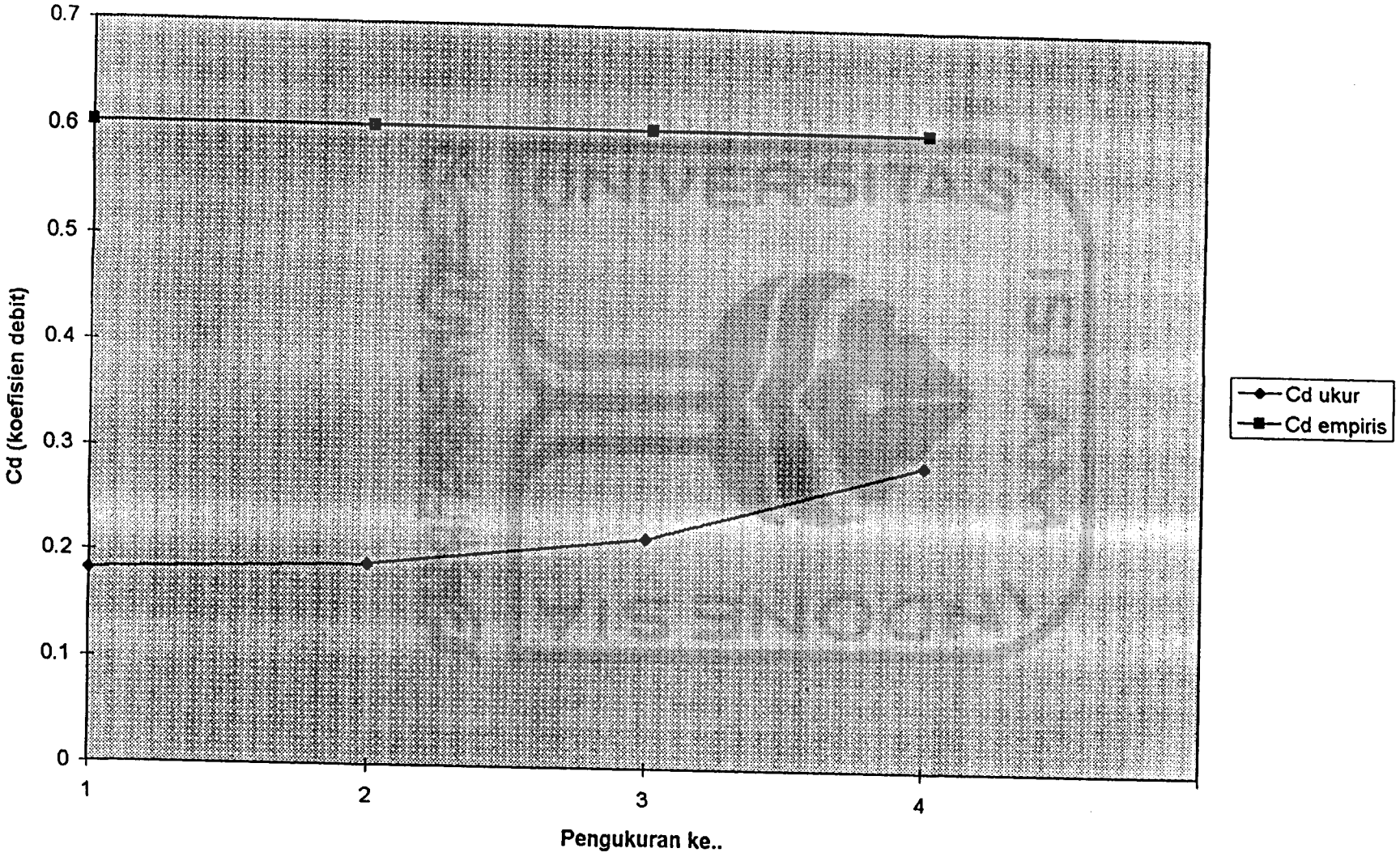
Lampiran 4.4

GRAFIK HUBUNGAN ANTARA KOEFISIEN DEBIT DENGAN DEBIT ALIRAN PADA MODEL V-NOTCH



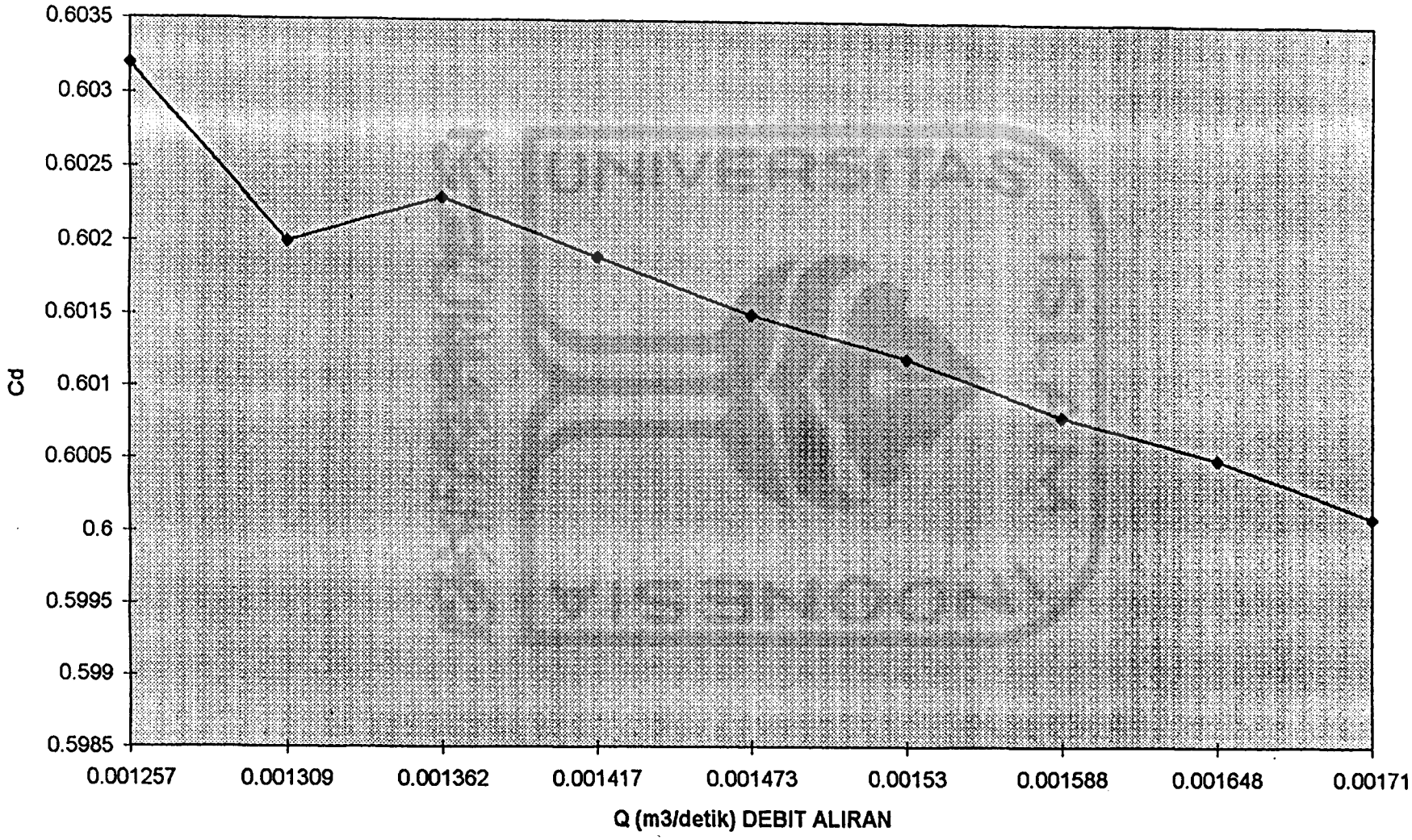
Lampiran 4.5

GRAFIK PERBANDINGAN KOEFISIEN DEBIT MODEL V-NOTCH



Lampiran 4.6

KOEFISIEN DEBIT EMPIRIS BERDASARKAN PENELITIAN REGINALD MODEL BENDUNG V-NOTCH



Lampiran 4.7